



ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO
EXTENSIÓN LATACUNGA

CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA

**SISTEMA DE SEGUIMIENTO AUTOMÁTICO DEL SOL PARA
OPTIMIZAR LA CAPTACIÓN DE ENERGÍA EN CELDAS
FOTOVOLTAICAS**

**PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO DE
EJECUCIÓN EN ELECTROMECAÁNICA**

ALEXANDER FRANCISCO TELLO CÓNDOR

Latacunga, julio 2010

CERTIFICACIÓN

Se certifica que el presente trabajo fue desarrollado por Alexander Francisco Tello Córdor, bajo nuestra supervisión.

Ing. Marco Singaña
DIRECTOR DEL PROYECTO

Ing. Fausto Acuña
CODIRECTOR DEL PROYECTO

ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO
EXTENSIÓN LATACUNGA
CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA

CERTIFICADO

En nuestra calidad de Director y Codirector, certificamos que el señor Alexander Francisco Tello C3ndor, ha desarrollado el proyecto de grado titulado **“SISTEMA DE SEGUIMIENTO AUTOMÁTICO DEL SOL PARA OPTIMIZAR LA CAPTACI3N DE ENERGÍA EN CELDAS FOTOVOLTAICAS”**, aplicando las disposiciones institucionales, metodol3gicas y t3cnicas, que regulan esta actividad acad3mica, por lo que autorizamos al mencionado estudiante, reproduzca el documento definitivo, se presente a las autoridades de la Carrera de Ingeniería Electromecánica, y se proceda a la exposici3n de su contenido.

Atentamente;

ING. MARCO SINGAÑA

DIRECTOR

ING. FAUSTO ACUÑA

CODIRECTOR

DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD Y RESPONSABILIDAD EXPRESADA

Quien suscribe, Tello Córdor Alexander Francisco, portador de la cédula de identidad N° 0501809180, libre y voluntariamente declara que el presente tema de investigación: **“SISTEMA DE SEGUIMIENTO AUTOMÁTICO DEL SOL PARA OPTIMIZAR LA CAPTACIÓN DE ENERGÍA EN CELDAS FOTOVOLTAICAS”**, su contenido, ideas, análisis, conclusiones y propuestas son originales, auténticas y personales.

En tal virtud son para efectos legales y académicos que se desprende de la presente tesis, es y será de exclusiva responsabilidad legal y académica, como autor de este proyecto de grado.

Atentamente;

Alexander Francisco Tello Córdor

ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO

EXTENSIÓN LATACUNGA

CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA

AUTORIZACIÓN

Yo, Tello C3ndor Alexander Francisco, autorizo la publicaci3n en la Biblioteca Virtual de la Instituci3n el trabajo de investigaci3n, titulado: **“SISTEMA DE SEGUIMIENTO AUTOMÁTICO DEL SOL PARA OPTIMIZAR LA CAPTACI3N DE ENERGÍA EN CELDAS FOTOVOLTAICAS”**; cuyo contenido, ideas y criterios es de mi exclusiva responsabilidad y autoría.

Latacunga, Julio del 2010.

Alexander Francisco Tello C3ndor

DEDICATORIA

A mi querida y linda esposa Ruth, a mis maravillosos hijos Shirley y Danny que demostraron Amor, Paciencia y Comprensión, virtudes que me sirvieron de apoyo para lograr tan anhelado triunfo en mi vida.

A mis padres, con su testimonio de vida fueron ejemplo a seguir.

A todos mis hermanos, de manera especial a Patricio y Marcelo por haberme ayudado y convencido que en la vida todo se consigue con esfuerzo y perseverancia.

A DIOS por ser mi fortaleza durante toda mi vida, darme todo lo que tengo y a JESÚS por ser mi mejor amigo y jamás abandonarme.

Alexander Tello C.

AGRADECIMIENTO

A la Escuela Politécnica del Ejército por brindarme un espacio en sus aulas del saber y de enseñanza.

A mis distinguidos Maestros por las enseñanzas y conocimientos compartidos, de manera especial a los Ingenieros Marco Singaña Director y Fausto Acuña Codirector por asesorarme y dirigirme en todo momento y que hoy brinda sus frutos al culminar con éxito el presente proyecto.

A los Ingenieros Washington Freire, Wilson Sánchez, Mario Jiménez y Misael Pazmiño, por su aporte brindado y su tiempo desinteresado.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CAPÍTULO I

FUNDAMENTOS Y CONCEPTOS DE ENERGÍA		PAG.
1.	GENERALIDADES Y FUENTES DE ENERGÍA	1
1.1	LA ENERGÍA	1
1.1.1	ENERGÍA PRIMARIA	2
1.1.2	ENERGÍA SECUNDARIA	3
1.1.3.	FUENTES RENOVABLES DE ENERGÍA	3
1.1.4.	FUENTES NO RENOVABLES DE ENERGÍA	5
1.2.	ENERGÍA SOLAR, NATURALEZA Y CAPTACIÓN	7
1.2.1.	EL RECURSO SOLAR	7
1.2.2.	IRRADIANCIA EXTRATERRESTRE	7
1.2.2.1.	LA CONSTANTE SOLAR	8
1.2.2.2.	IRRADIANCIA TERRESTRE	9
1.2.3.	RADIACIÓN SOLAR	9
1.2.3.1.	RADIACIÓN NORMAL EXTRATERRESTRE	10
1.2.3.2.	COMPONENTES DE LA RADIACIÓN SOLAR TERRESTRE	12
1.2.4.	LA TRAYECTORIA SOLAR	14
1.2.5	ORIENTACIÓN	14
1.2.6	ÁNGULO DE INCLINACIÓN	15
1.2.7	CAPTACIÓN DE ENERGÍA SOLAR	17
1.3.	CAPTACIÓN FOTOVOLTAICA, VENTAJAS Y APLICACIONES	18
1.3.1	ENERGÍA FOTOVOLTAICA	18
1.3.1.1	EFEECTO FOTOVOLTAICO	18
1.3.2.	CELDA SOLARES	19
1.3.2.1	ENERGÍA SOLAR ABSORBIDA POR LA CELDAS FOTOVOLTAICAS	20
1.3.2.2	COMPOSICIÓN Y MATERIALES DE FABRICACIÓN DE CELDA SOLARES	21

1.3.2.3	CARACTERISTICAS DE LAS CELDAS SOLARES DE SILICIO ACTUALES	22
1.3.3	VENTAJAS	22
1.3.4	APLICACIONES DE LA ENERGÍA FOTOVOLTAICA	23
1.4.	DESCRIPCIÓN DE ELEMENTOS DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO	24
1.4.1.	EL SISTEMA FOTOVOLTAICO	24
1.4.1.1	FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO	24
1.4.1.2	SISTEMAS INTERCONECTADOS	25
1.4.1.3	SISTEMAS AISLADOS O AUTÓNOMOS	25
1.4.2	ELEMENTOS DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO	25
1.4.2.1	PANEL FOTOVOLTAICO	25
1.4.2.2	CONEXIÓN DE CELDAS	27
1.4.2.3	CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE LOS MÓDULOS FOTOVOLTAICOS	29
1.4.2.3.1	POTENCIA EFECTIVA DEL PANEL	30
1.4.2.4	CURVAS CARACTERÍSTICAS	31
1.4.3	BATERÍA	33
1.4.3.1	CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE LAS BATERÍAS	34
1.4.3.2	TIPOS DE BATERÍAS	37
1.4.3	REGULADOR DE CARGA	40
1.4.3.1	PREVENIR QUE LAS BATERÍAS SE SOBRECARGUEN	40
1.4.3.2	ELIMINAR EL FLUJO DE CORRIENTE DE LAS BATERÍAS A LAS FOTOCELDA	42
1.4.4	INVERSOR	44
1.4.5	ENERGÍA PRODUCIDA POR UN SISTEMA FOTOVOLTAICO	45
1.4.6	MANTENIMIENTO DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO	46
1.5.	ELEMENTOS, ESTRUCTURA Y FUNCIONAMIENTO DE UN SEGUIDOR DE LUZ SOLAR	46
1.5.1.	INTRODUCCIÓN	46
1.5.2	ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA CON PANELES ESTÁTICOS	46
1.5.3	ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA CON SEGUIMIENTO AUTOMÁTICO	48

1.5.4	OBJETIVOS DE LOS SEGUIDORES	49
1.5.4.2	TIPOS DE SEGUIDORES	49
1.5.4.3	SEGUIDOR DE UN EJE	49
1.5.4.4	SEGUIDOR DE DOS EJES	51
1.5.5	ELEMENTOS DEL SEGUIDOR SOLAR A CONSTRUIR	51
1.5.5.1	PANEL SOLAR	52
1.5.5.2	SENSORES	52
1.5.5.3	TIPOS DE SENSORES	53
1.5.5.3.1	SENSOR DE LUZ	54
1.5.5.4	MOTOR	55
1.5.5.4.1	TIPOS DE MOTORES	56
1.5.6	SISTEMA DE TRANSMISIÓN DE MOVIMIENTO	58
1.5.7	MICROCONTROLADORES	61
1.5.7.1	MICROCONTROLADOR	62
1.5.7.2	MICROCONTROLADOR PIC.	62

CAPÍTULO II

DIMENSIONAMIENTO Y SELECCIÓN DE LOS ELEMENTOS DEL SISTEMA

2.1	DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA A IMPLEMENTAR	69
2.2	DIMENSIONAMIENTO DEL PANEL FOTOVOLTAICO	70
2.2.1	DETERMINACIÓN DE LAS CARGAS Y SU CONSUMO DE ENERGÍA DIARIO	70
2.2.2	DATOS GEOGRÁFICOS Y LOCALIZACIÓN DE LA ZONA DE FUNCIONAMIENTO	71
2.2.3	SELECCIÓN DEL SISTEMA GENERADOR PANEL FOTOVOLTAICO	72
2.2.3.1	POTENCIA DEL PANEL EFECTIVA-ESPERADA	72
2.2.3.2	CALCULO DE PANELES NECESARIOS	73
2.2.3.3	NÚMERO DE PANELES	74
2.3	SELECCIÓN DEL SERVOMOTOR	76
2.3.1	ANÁLISIS MECÁNICO	76

2.3.1.1	TORQUE DEL SERVOMOTOR	76
2.3.1.2	CÁLCULO DE LA RELACIÓN DE TRANSMISIÓN	78
2.3.2	ANÁLISIS ELÉCTRICO-ELECTRÓNICO	81
2.3.2.1	MODULACIÓN DE ANCHO DE PULSO	81
2.4	EQUIPO DE ACUMULACIÓN Y APARATOS DE VISUALIZACIÓN	82
2.4.1	SELECCIÓN DE LA BATERÍA	82
2.4.1.1	PARÁMETROS DE CÁLCULO PARA LA BATERÍA	83
2.4.2	DISPOSITIVOS DE VISUALIZACIÓN	87
2.5	DISEÑO DE CIRCUITOS DE SEGUIMIENTO Y POSICIONAMIENTO	87
2.5.1	SELECCIÓN DEL MICROCONTROLADOR (PIC)	88
2.5.2	SISTEMA DE SEGUIMIENTO DEL SOL	91
2.6	ESTRUCTURA SOPORTE PRINCIPAL	92
2.6.1	BASE DEL MOTOR, EJES, CHUMACERAS Y RODAMIENTOS	92

CAPÍTULO III

CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN

3.1	CONSTRUCCIÓN DE LA BASE Y MONTAJE DEL PANEL	94
3.1.1	CONSTRUCCIÓN DE LA BASE	94
3.1.2	MONTAJE DEL PANEL	95
3.2	MONTAJE BASE DEL MOTOR	96
3.3	ACOPLAMIENTO PANEL – SISTEMA DE ENGRANAJES Y EJE DEL MOTOR	97
3.3.1	SISTEMA DE SEGUIMIENTO SOLAR	97
3.4	IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL	98
3.4.1	IMPLEMENTACIÓN DEL HARDWARE	98
3.4.1.1	EL MICROCONTROLADOR CON SU CIRCUITO DE POLARIZACIÓN, OSCILADOR Y REINICIALIZACIÓN	98
3.4.1.2	CIRCUITO DEL SEGUIMIENTO DE LUZ	99
3.4.1.3	CIRCUITO DETECTOR DE CARGA DE LA BATERÍA	100

3.4.1.4	CIRCUITO DE CARGA DE LA BATERÍA	101
3.4.1.5	CIRCUITO DE CONTROL DEL SERVOMOTOR	102
3.4.1.6	CIRCUITO DE SEÑALIZACIÓN	103
3.4.1.7	CIRCUITO DE CONTROL DEL INVERSOR	104
3.4.2	IMPLEMENTACIÓN DEL SOFTWARE	107
3.5	UBICACIÓN DE LA BATERÍA Y ELEMENTOS DE VISUALIZACIÓN	117
3.5.1	UBICACIÓN DE LA BATERÍA	117
3.5.2	ELEMENTOS DE VISUALIZACIÓN Y MEDICIÓN	117

CAPÍTULO IV

PRUEBAS Y RESULTADOS

4.1	CONDICIONES DE OPERACIÓN Y FUNCIONAMIENTO SIN SEGUIMIENTO	121
4.1.1	PRUEBAS DEL PANEL FOTOVOLTAICO FIJO	121
4.1.2	PRUEBA DEL SISTEMA ACOPLADO SIN SEGUIMIENTO	124
4.2	CONDICIONES DE OPERACIÓN Y FUNCIONAMIENTO CON SEGUIMIENTO	126
4.2.1	UBICACIÓN DEL PANEL EN POSICIÓN INICIAL	126
4.2.2	PRUEBAS CON SEGUIMIENTO AUTOMÁTICO	127
4.3	PRUEBAS DE FIABILIDAD DEL EQUIPO CON / SIN IRRADIACIÓN SOLAR	131
4.3.1	FIABILIDAD DEL EQUIPO CON IRRADIACIÓN SOLAR	131
4.3.2	FIABILIDAD DEL EQUIPO SIN IRRADIACIÓN SOLAR	133
4.4	PRUEBAS DE FIABILIDAD DEL EQUIPO CON CARGA	134
4.4.1	PRUEBAS CON CARGAS PUNTUALES	134
4.4.2	PRUEBA DE DESCONEXIÓN DE ALIMENTACIÓN	139
4.5	ANÁLISIS DE RESULTADOS FINALES	140

CAPÍTULO V
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1.	CONCLUSIONES	143
5.2.	RECOMENDACIONES	145

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

LISTADO DE FIGURAS

CAPÍTULO I

FUNDAMENTOS Y CONCEPTOS DE ENERGÍA

	PAG.
Figura 1.1 Irradiancia sobre una superficie de área S	8
Figura 1.2 Irradiancia y horas solares pico durante día soleado	9
Figura 1.3 Posición de la Tierra con respecto al Sol	10
Figura 1.4 Componentes de la radiación global sobre una superficie Inclinada.	12
Figura 1.5 Espectro luminoso de luz solar	13
Figura 1.6 Movimiento aparente del sol en función de la hora del día y la época del año	14
Figura 1.7 Ángulo de inclinación óptimo en verano e invierno	15
Figura 1.8 Ángulo de incidencia de los rayos solares sobre una superficie	16
Figura 1.9 Coordenadas solares terrestres	17
Figura 1.10 Aprovechamiento y captación de energía solar	17
Figura 1.11 Efecto fotovoltaico en una célula solar	19
Figura 1.12 Funcionamiento de las celdas solares	20
Figura 1.13 Espectro de la energía solar	20
Figura 1.14 Configuración de una celda solar	21
Figura 1.15 Instalación solar fotovoltaica con inversor para conexión a Red Vca.	24
Figura 1.16 Conformación de un módulo fotovoltaico	26
Figura 1.17 Corte transversal de un panel fotovoltaico	26
Figura 1.18 Analogía de una conexión de 4 paneles de 12V-2A en serie	28
Figura 1.19 Analogía de una conexión de 4 paneles de 12V-2A en paralelo	29
Figura 1.20 Curva I-V y P-V para un módulo fotovoltaico 1000 W/m^2 y 25°C	31
Figura 1.21 Curva I-V para diferentes radiaciones solares	32
Figura 1.22 Curva de Potencia en función de la radiación solar a diferentes Horas	32

Figura 1.23	Dependencia de la I producida en función del V para diferentes Temperaturas	33
Figura 1.24	Batería cargada	34
Figura 1.25	Batería descargada	34
Figura 1.26	Composición de una batería Plomo-Acido	37
Figura 1.27	Composición de una batería Ni-Cadmio con placas de bolsillo	39
Figura 1.28	Ejemplo de conexión del regulador de Voltaje LM7805	41
Figura 1.29	Tipos de encapsulados de reguladores 78XX	41
Figura 1.30	Circuito de Protección de regulador de voltaje con diodo inverso	41
Figura 1.31	Utilización de un diodo zener para elevar el Voltaje de salida Regulado	42
Figura 1.32	Conexión de diodos para elevar el voltaje de salida del Regulador	42
Figura 1.33	Esquema de conexión de diodo en una sola dirección	43
Figura 1.34	Esquema de conexión de diodos de bypass y de bloqueo	43
Figura 1.35	Convertor DC/AC con puente diodos completo	44
Figura 1.36	Generación del semiciclo positivo	45
Figura 1.37	Generación del semiciclo negativo	45
Figura 1.38	Paneles fotovoltaicos fijos	47
Figura 1.39	Soportes para módulos fotovoltaicos con regulación de ángulos	47
Figura 1.40	Soporte tipo poste de sostén ajustable	48
Figura 1.41	Curva de captación solar módulo fijo Vs. módulo con seguimiento.	48
Figura 1.42	Seguidor de un eje Azimutal por mecanismo de gas	50
Figura 1.43	Soporte con seguidor en 2 ejes	51
Figura 1.44	Constitución de un Servomotor	57
Figura 1.45	Colores de los terminales para algunas marcas comerciales	58
Figura 1.46	Detalle de la relación de transmisión por engranajes simples	59
Figura 1.47	Engranaje de dos piñones	59
Figura 1.48	Esquema de transmisión por engranajes	60
Figura 1.49	Estructura de un sistema abierto basado en microprocesador	62
Figura 1.50	Estructura de un sistema abierto basado en microcontrolador	63

Figura 1.51	Estructura interna de un microcontrolador	63
Figura 1.52	Arquitectura Von Neumann	64
Figura 1.53	Arquitectura Harvard actual de los microcontroladores	64

CAPÍTULO II

DIMENSIONAMIENTO Y SELECCIÓN DE LOS ELEMENTOS DEL SISTEMA

Figura 2.1	Detalle del panel	77
Figura 2.2	Servomotor Hitec HS – 311 y sus características técnicas	81
Figura 2.3	Tren de pulsos para control del servo	82
Figura 2.4	Batería seleccionada	85
Figura 2.5	Circuito Básico del PIC 16F873	88
Figura 2.6	Configuración de pines del PIC16F873	89
Figura 2.7	Configuración de fotorresistores en divisor de voltaje	91

CAPÍTULO III

CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN

Figura 3.1	Base soporte	94
Figura 3.2	Montaje bases guías	95
Figura 3.3	Ejes de soporte y chumaceras	95
Figura 3.4	Chumaceras fijadas a las estructuras	96
Figura 3.5	Fijación de la base del motor	96
Figura 3.6	Acople sistema de movimiento del panel fotovoltaico	97
Figura 3.7	Foto sensores con placa de luz/sombra	97
Figura 3.8	Circuito básico del PIC 16F873	99
Figura 3.9	Circuito de seguimiento de luz	100
Figura 3.10	Circuito detector de carga de la batería	101
Figura 3.11	Circuito de carga de la batería	102
Figura 3.12	Circuito de control del servomotor	102

Figura 3.13	Circuito de señalización	103
Figura 3.14	Circuito de control del inversor	104
Figura 3.15	Circuito del control del sistema de generación fotovoltaica	106
Figura 3.16	Diagrama de flujo simplificado	107
Figura 3.17	Diagrama subrutina inversor	108
Figura 3.18	Subrutina Buscar	110
Figura 3.19	Generación del pulso PWM	111
Figura 3.20	Subrutina giro servomotor	112
Figura 3.21	Disposición de la batería	117
Figura 3.22	Montaje de la placa soporte de dispositivos	117
Figura 3.23	Montaje de dispositivos de medición y visualización	118
Figura 3.24	Placa circuito de control electrónico	120
Figura 3.25	Fijación y cableado de dispositivos	120

CAPÍTULO IV

PRUEBAS Y RESULTADOS

Figura 4.1	Panel Solar Inclinado	121
Figura 4.2	Voltaje generado por el panel con Fuente Luminosa Solar	123
Figura 4.3	Corriente generada por el panel con Fuente Luminosa Solar	123
Figura 4.4	Curva de Voltaje generado por el Panel y Voltaje de Carga de la Batería	125
Figura 4.5	Corriente de Carga Generado por el Panel y Voltaje de Carga de la Batería	125
Figura 4.6	Disposición del Equipo para Seguimiento Solar Automático	126
Figura 4.7	Curvas de Voltaje del Panel con Seguimiento Solar	129
Figura 4.8	Curvas de Corriente de Carga con Seguimiento Solar	129
Figura 4.9	Curva Voltaje de Batería con Seguimiento Solar	130
Figura 4.10	Gráfica de la Temperatura Ambiente mostrada en el Computador	131
Figura 4.11	Datos y Curva del Voltaje de Batería con Cielo Despejado	132
Figura 4.12	Curva del Voltaje del Panel con Cielo Despejado	133

Figura 4.13	Datos y Curva del Voltaje de Batería con Cielo Nublado	134
Figura 4.14	Cargas Conectadas al Equipo	135
Figura 4.15	Descarga de Voltaje en la Batería. Carga 25 W	136
Figura 4.16	Descarga de Voltaje en la Batería. Carga 22 W	137
Figura 4.17	Abastecimiento de la Batería para Diferentes Cargas	139
Figura 4.18	Medición del Voltaje de Batería y Cambio de Color en el Led Indicativo.	139
Figura 4.19	Diferencia en la Corriente de Carga con Sistemas Fijo y con Seguimiento	141

ÍNDICE DE TABLAS

CAPÍTULO I

FUNDAMENTOS Y CONCEPTOS DE ENERGÍA

		PAG.
Tabla 1.1	Ecuación para convertir el día del mes en el número de día del año.	11
Tabla 1.2	Valores de energía para distintas masa de aire AM.	13
Tabla 1.3	Características técnicas de un módulo solarex VLX-53	31
Tabla 1.4	Efecto de la temperatura en la vida de las baterías	36
Tabla 1.5	Valores en porcentajes de descarga con relación a los ciclos de vida.	39
Tabla 1.6	Valores de tensión de los reguladores de voltaje encapsulados	40

CAPÍTULO II

DIMENSIONAMIENTO Y SELECCIÓN DE LOS ELEMENTOS DEL SISTEMA

Tabla 2.1	Potencia, tiempo de utilización y consumo diario de las cargas	70
Tabla 2.2	Descripción de pines del PIC 16F873	90

CAPÍTULO III

CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN

Tabla 3.1	Carga de la batería en valores de palabra digital interpretados por el microcontrolador	108
Tabla 3.2	Incidencia de luz en valores de voltaje transformados a palabra digital.	109

CAPÍTULO IV

PRUEBAS Y RESULTADOS

Tabla 4.1	Voltajes y Corrientes Generados por el Panel por Incidencia de Luz Solar.	122
Tabla 4.2	Datos de Voltaje – Corriente del Panel Solar y Voltaje de Carga de la Batería bajo Incidencia Solar.	124
Tabla 4.3	Datos de Voltaje – Corriente Generados por el Panel y Voltaje de Batería con Seguimiento Automático del Sol.	128
Tabla 4.4	Aparatos eléctricos con sus potencias de consumo.	135
Tabla 4.5	Datos de disminución del Voltaje de Batería con una Carga de 25 Watios.	136
Tabla 4.6	Datos de disminución del Voltaje de Batería con una Carga de 22 Watios	137
Tabla 4.7	Tiempo de Abastecimiento de la Batería para Diferentes Cargas	138
Tabla 4.8	Valores comparativos de los Sistemas Fijo y con Seguimiento	140

LISTADO DE ANEXOS

ANEXO A

- ANEXO A1 Datos de Irradiación solar del Ecuador
- ANEXO A2 Mapas de Irradiación solar del Ecuador

ANEXO B

- ANEXO B1 Características del panel fotovoltaico utilizado
- ANEXO B2 Características del inversor de corriente

- ANEXO C Plano mecánico del sistema automático de seguimiento solar

- ANEXO D Características técnicas del transistor MOSFET IRF 620

ANEXO E

- ANEXO E1 Prueba con carga de 30 W.
- ANEXO E2 Prueba con carga de 47 W.

ANEXO F

- ANEXO F1 Mediciones de voltaje del panel con cielo nublado efectuadas con el multímetro Pro'skit 3PK-343
- ANEXO F2 Curva de Voltaje del Panel Generada en Tiempo Real con Cielo Nublado y Seguimiento Automático Efectuadas con el Multímetro Pro'sKit 3PK-343 y conexión a PC

- ANEXO G Imágenes del proyecto sistema de seguimiento automático del sol para optimizar la captación de energía en celdas fotovoltaicas

- ANEXO H Funcionamiento del Equipo y Solución de problemas

- ANEXO I Manual de Acumuladores de energía y Sistemas Fotovoltaicos Domiciliarios

RESUMEN

El propósito principal de este proyecto de tesis, es el de difundir el aprovechamiento más eficiente de la energía primaria proveniente del Sol y convertirla en energía eléctrica.

Sin lugar a dudas, es la forma más limpia y fiable para la producción de energía eléctrica que ha tomado mucho interés en la actualidad debido a dos aspectos: a) Abastecer de energía a los usuarios de lugares alejados, y b) el cuidado del medio ambiente.

El primero se sustenta en que acceder a sitios lejanos resulta muy difícil, debido a que la geografía del lugar no brinda las facilidades, y por otra; resulta muy costoso tender varios Km. de redes eléctricas para pocos usuarios. Es un diagnóstico que merece ser revaluado, especialmente en vista del 1'700.000 (Un millón setecientos mil) ecuatorianos que no disponen de energía ni eléctrica, ni alternativa. ^[1]

El cuidado del medio ambiente es muy importante por los efectos que causa utilizar otros sistemas de generación eléctrica. Como un claro ejemplo, en el País se tienen aprobados los proyectos para generación solar por medio de paneles de celdas fotovoltaicas y de generación eólica en las Islas Galápagos, que están desplazando y reemplazando a la tradicional generación térmica con diesel.

Lo interesante de este proyecto, es que el módulo de celdas fotovoltaicas pueda aprovechar al máximo la energía proveniente del Sol mediante el posicionamiento automático del panel en forma perpendicular a los rayos solares y convertirla en energía eléctrica. Ésta energía será almacenada en una batería y luego será utilizada en el funcionamiento de pequeñas cargas como pueden ser un foco, un radio o un televisor de baja potencia.

El proyecto de tesis tiene la particularidad que será un sistema de funcionamiento autónomo. Al hablar de autonomía se está diciendo que el propio sistema fotovoltaico debe autoalimentar a los elementos de movimiento y control que intervienen en el mismo.

^[1] [www.uio.satnet.net/grupos de discusión/cultura](http://www.uio.satnet.net/grupos%20de%20discusi3n/cultura)

El prototipo servirá de base fundamental para construir y mejorar nuevos sistemas, los mismos que puedan ser utilizados y adquiridos por personas que no tienen acceso a las redes eléctricas, en especial en el área rural. Claro está que en un inicio requiere de gran inversión, pero a largo plazo resulta muy rentable. Dependiendo de la potencia requerida por el usuario, el sistema cambiará su conformación, el tamaño y su precio de inversión.

El presente proyecto de estudio está compuesto de cinco capítulos, en los cuales se tratan los siguientes temas:

En el capítulo I, se habla sobre los conceptos y fundamentos teóricos de la energía, las fuentes de energía renovables y no renovables con sus diferencias, captación y obtención de energía solar-eléctrica, los elementos que intervienen en un sistema fotovoltaico, y se finaliza analizando el sistema a construirse, los elementos principales y fundamento de un seguidor de luz solar.

El capítulo II, trata sobre la selección y dimensionamiento de cada uno de los elementos que intervienen en el sistema. Aquí se debe poner mucho énfasis y criterio al combinar los conocimientos, enseñanzas, experiencia, recomendaciones de entendidos y proveedores, que permitan realizar los cálculos respectivos que brinden la seguridad de que el sistema funcione.

El capítulo III se fundamenta en la construcción, ensamble y conexión de los elementos que intervienen en el módulo, la implementación del sistema de control; con lo cual la parte física del sistema se encuentra listo para someterlo a las pruebas respectivas.

El capítulo IV, consiste en efectuar las pruebas de funcionamiento, operación y fiabilidad del equipo. Los datos y valores que arrojen cada una de las pruebas a las que se somete el proyecto, ayudarán a identificar algunos detalles que se pueden mejorar y saber si el proyecto es eficiente y óptimo al compararlo con los sistemas de captación Fotovoltaicos fijos.

Por último en el capítulo V se analizan los valores y resultados de las pruebas efectuadas, con el propósito de presentar las respectivas conclusiones, así como también las recomendaciones dadas en función de la experiencia obtenida por todas las dificultades que se presentaron a lo largo del proyecto, para finalmente proveer de un manual de operación y funcionamiento del equipo.

i. INTRODUCCIÓN

Una prioridad a escala mundial y en particular en nuestro país, es que frente a la inminente imposibilidad de seguir abasteciendo al planeta de energía eléctrica proveniente de fuentes tradicionales, ha despertado el interés de aprovechar la energía proveniente de las llamadas fuentes de energía renovables, las cuales tienen grandes ventajas, como son: su carácter de inagotable, el cuidado del medio ambiente y la posibilidad de producción descentralizada e independiente.

En nuestro país actualmente seguimos enfrentándonos al problema del déficit de energía eléctrica, se creía haberlo superado al realizar los convenios de compra a nuestros vecinos de Colombia y Perú en los años 2001 y 2004 respectivamente.

Frente a esto el Ministerio de Energía y Minas ha emprendido campañas de ahorro energético, y desarrollo de nuevos proyectos, pero en su gran mayoría son hidroeléctricos. Si hablamos del aprovechamiento de recursos energéticos provenientes de fuentes renovables, el país es uno de los más privilegiados del mundo en la dotación de energías renovables como el agua, biomasa, el sol y el viento, pero en realidad la producción de Energía Eléctrica es escasa.

Los proyectos hidroeléctricos más grandes con los que actualmente cuenta el Ecuador, como son Agoyán, Paute y Daule-Peripa, sumados, generan 1500 MW de potencia, este total equivale a la milésima parte de la energía neta que diariamente entrega el sol en nuestro territorio, según información publicada por diario HOY. M. Gilberto Montoya, **Agosto 10 del 2004.** ^[2]

^[2] http://www.hoy.com.ec/NoticiaNue.asp?row_id=183114

Esta realidad nos ubica en un plano de soberbia, frente a la inmensa generosidad de la naturaleza, ya que diversas zonas del país son aptas para utilización de energía solar alcanzando niveles de radiación en el orden del 3 a 4 KWh/m² día. Otra cifra es que el Ecuador está recibiendo en energía solar el equivalente a 70 millones de toneladas diarias, es decir aproximadamente 4.5 años de producción petrolera. ^[3]

ii. ANTECEDENTES

Dentro de una economía globalizada, el crecimiento poblacional, la competitividad, etc., podemos decir que son algunos de los parámetros importantes que deben tomarse en cuenta si se quiere entregar una ciudad, provincia y país, donde las futuras generaciones tengan la oportunidad de seguir surgiendo.

Con una deficiente Política Energética, en la cual el costo de la energía es demasiado oneroso; razón principal por la que el país no puede ser competitivo, donde la economía del país depende en gran medida de la producción y exportación petrolera, pero de que nos sirve si en gran medida utilizamos combustibles para generar energía en las centrales térmicas, lo cual representa un déficit a los ingresos del país, y lo que es más atentamos al medio ambiente.

En el país existen contadas las empresas que se dedican a brindar los servicios de capacitación, construcción e implementación de Sistemas de Captación de Energía Solar Fotovoltaica. Como ejemplos tenemos: ISOFOTON y CODESO en la ciudad de Quito.

Con lo expuesto anteriormente, el constante avance científico - tecnológico y que el profesional que se ha formado en la ESPE – L debe ser altamente competitivo en todo campo, se ve la necesidad de aplicar los conocimientos adquiridos y en base a estos, realizar el proyecto de estudio en el que se pueda Mejorar la Eficiencia de Captación de la Energía proveniente del Sol a través de un sistema de seguimiento automático.

^[3] http://www.hoy.com.ec/NoticiaNue.asp?row_id=183114

iii. OBJETIVO GENERAL DEL PROYECTO

SISTEMA DE SEGUIMIENTO AUTOMÁTICO DEL SOL PARA OPTIMIZAR LA CAPTACIÓN DE ENERGÍA EN CELDAS FOTOVOLTAICAS.

iv. OBJETIVOS ESPECÍFICOS DEL PROYECTO

1. Conocer el fundamento teórico-práctico sobre la captación de Energía Solar.
2. Dimensionar y Seleccionar los elementos necesarios que intervienen en un Sistema de Captación de Energía Solar con paneles fotovoltaicos.
3. Conocer el funcionamiento de un sistema de seguimiento automático del Sol.
4. Mejorar y Optimizar los sistemas de captación para el aprovechamiento máximo de la energía, mediante el Sistema de Seguimiento solar.
5. Determinar y seleccionar los elementos mecánicos y electrónicos necesarios para el control y funcionamiento del sistema.
6. Conocer el funcionamiento de los PIC`S y su programación.
7. Utilizar la energía proveniente del Sol para transformarla en energía eléctrica para su aprovechamiento.

v. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA DEL PROBLEMA A RESOLVER

Debido al déficit y a la mala utilización de la energía, el Gobierno del Ecuador en el año 2001, a través del Ministerio de Energía y Minas tuvo que impulsar uno de sus planes, el cual se lo conoce como Programa de Ahorro de Energía, sustentado en subsidios para quienes le dan un uso racional. Sumado a este problema, debemos enfrentarnos a otro, y es que debido a la falta de energía nos hemos visto en la necesidad de comprarla a nuestros países vecinos.

En particular, se considera al sistema estudiado útil para el desarrollo en áreas rurales o en sitios donde es difícil llegar con electrificación, debido a que en el campo las cargas a conectarse son pequeñas, como pueden ser un foco, un pequeño radio o televisor de bajo

consumo. Sin embargo, se espera que en un futuro próximo este medio de generación de energía pueda hacerse extensible a otros niveles y dedicado a otras actividades.

vi. METAS DEL PROYECTO Y ALCANCE

- Aplicar los conocimientos adquiridos en la carrera de Ingeniería de Ejecución en Electromecánica, como ayuda en el desarrollo de energías nuevas y sustentables para el futuro.
- Construir un módulo autónomo que utilice la energía captada para su propio funcionamiento.
- Realizar las pruebas de seguimiento automático del sol.
- Efectuar las pruebas de funcionamiento del equipo con cargas de baja potencia en lugares donde no existe energía eléctrica.
- Brindar el conocimiento necesario para las personas interesadas en crear una pequeña micro-empresa que se dedique a la construcción e implementación de Sistemas que ayuden a optimizar la Captación de Energía Solar en zonas aisladas donde es difícil el acceso con líneas de electrificación.
- Obtener el título de Ingeniero de Ejecución en Electromecánica.

En síntesis, el alcance del proyecto es construir un módulo de Seguimiento Automático del Sol en un eje para optimizar la captación de energía. Además el módulo debe permitir almacenar y utilizar ésta energía para que su funcionamiento sea de forma autónoma y pueda abastecer a las cargas que serán sometidas a las pruebas respectivas, para esto; la energía captada por el Panel fotovoltaico será almacenada en una batería y es necesario que ésta, sea transformada con la ayuda de un pequeño inversor para convertirla de Corriente Continua a Corriente Alterna que servirá para alimentar a las cargas que servirán de prueba.

Al final, los resultados de las pruebas efectuadas con el Sistema de Seguimiento Automático del Sol a construirse, se compararán y se obtendrán los resultados de eficiencia y mejoramiento con respecto al sistema en el cual la disposición de los paneles es fija.

CAPÍTULO I

FUNDAMENTOS Y CONCEPTOS DE ENERGÍA

1. GENERALIDADES Y FUENTES DE ENERGÍA

Cada vez que se realiza un determinado trabajo sobre un sistema de control, sea ésta de su posición, su movimiento, o incluso de su condición molecular, se dice que éste tiene la capacidad de suministrar energía. Entre las diferentes formas de energía, se distinguen principalmente las siguientes: la mecánica, la térmica o calorífica, la eléctrica, la nuclear o atómica, y la química.

Todos los cambios de condiciones, pueden transformar continuamente un tipo de energía en otra. Así la energía calorífica puede transformarse en energía cinética, lo mismo que la energía mecánica puede convertirse en energía térmica; el calor puede transformarse en reacción química y a la inversa, una reacción química puede generar calorías. La energía eléctrica se transforma continuamente en energía mecánica o en energía calorífica. En la energía nuclear, la desintegración del átomo genera calorías, que constituye energía térmica que luego puede transformarse en energía eléctrica.

1.1. La Energía

La energía se la puede concebir como el nivel de capacidad que tiene un cuerpo en un determinado instante para realizar un trabajo ^[1].

Una ley fundamental enuncia que “la energía no se crea ni se destruye, únicamente se transforma”.

^[1] Proyecto para Ahorro de Energía. Ministerio de Energía y Minas. 2001. Sección I. Cap.2

Además se dice que un cuerpo puede tener energía por su cambio de posición, condición, o cambio molecular ^[2]. De la energía utilizada en un trabajo, se pierde siempre un cierto porcentaje de su capacidad en la transformación, es decir; el rendimiento no es total.

Energía potencial

Energía almacenada que posee un sistema como resultado de las posiciones relativas de sus componentes. La energía potencial depende de la masa y la altura del objeto, según la ecuación:

$$E = m \times g \times h \quad \text{(Ec.1.1)}$$

Energía cinética

Energía que un objeto posee debido a su movimiento. La energía cinética depende de la masa y la velocidad del objeto, según la ecuación:

$$E_p = \frac{1}{2} m \times v^2 \quad \text{(Ec.1.2)}$$

Energía Útil

Es la energía de uso final, es decir, la que se utiliza como luz, calor, energía química en una batería, etc. ^[3].

1.1.1. Energía Primaria

Se consideran así a las energías que provienen de distintas fuentes de energía, tal como se obtienen en la naturaleza ^[4]:

- a) En forma directa
- b) Mediante un proceso de extracción.

^[2] ^[3] ^[4] Proyecto para Ahorro de Energía. Ministerio de Energía y Minas. 2001. Sec.I.Cap.2.

Forma Directa

Hidráulica

Solar

Leña

Combustibles vegetales

Por Extracción

Petróleo

Carbón Mineral

Gas natural

Geotérmica

1.1.2. Energía Secundaria

Son las provenientes a partir de la transformación de fuentes de energía naturales que luego son utilizadas en diversos sectores y que pueden ser nuevamente transformados a otra forma de energía. Entre éstas se tiene: la energía nuclear, gasolina, kerosene, diesel, gas oíl, naftas, alcohol, carbón vegetal, la electricidad ^[5].

1.1.3. Fuentes Renovables de Energía

Con frecuencia se utilizan los términos de “Fuentes no convencionales”, “Fuentes alternas” o “Fuentes renovables”, de energía. En realidad no son sinónimos, existen algunas diferencias en su significado. Para aclarar esto se presenta un ejemplo: El uranio es una fuente alterna, es No convencional, y es No Renovable.

Las fuentes renovables de energía por excelencia provienen de dos fuentes:

- a) De la energía solar y sus manifestaciones, como son: la hidráulica, la eólica, la biomasa, la mareomotriz, la energía de las olas; y
- b) Del interior de la tierra, como es la geotérmica.

Energía Hidráulica

Proviene de la evaporación de los ríos, lagos, mares, por efecto del calor solar, y su posterior condensación y caída en forma de lluvia.

^[5] Tesis Modelización Energética en el Ecuador. ESPOL. Ingeniería Eléctrica. 1999. Pág. 22.

Ésta puede ser captada en forma directa en turbinas o molinos para generar energía mecánica. Si se desea producir energía eléctrica, hay que acoplar un generador al eje de la turbina, al mismo tiempo que gira la turbina se va produciendo la energía eléctrica.

Energía Eólica

La radiación solar genera un calentamiento desigual en la tierra, esto hace que se tengan diferencias de presión que produce un efecto de movimiento del aire conocido como el viento, esta energía de movimiento y velocidad del viento es aprovechado en el golpeo de las aspas de los aerogeneradores que convierten la energía mecánica de rotación en energía eléctrica^[6].

Energía de la Biomasa

Es toda materia orgánica o inorgánica que en primera instancia fueron nutridos por el sol como árboles, pasto, vegetación, etc., y luego descompuestos por el mismo en forma de desechos inorgánicos, arbustos, leña, hojas secas, etc.

De igual manera, de la actividad industrial o residencial se tienen algunos desechos como: basura, madera, aguas negras, desechos animales, que con efecto de secarlas se obtienen combustibles, y por efecto de su combustión se puede generar energía calorífica y térmica que pueden ser utilizadas en otros tipos de energías como vapor para las turbinas^[7].

Energía de las mareas

El movimiento de las aguas de los océanos por movimiento de la tierra y atracción lunar provoca que el agua se mueva y en las costas se tenga la subida y bajada de las mareas, al ocurrir esto, se puede utilizar la energía proveniente de esta subida en forma de energía mecánica^[8].

^[6] ^[7] ^[8] Tesis Modelización Energética en el Ecuador. ESPOL. Ingeniería Eléctrica. 1999. Pág. 26,27,28.

Energía de las Olas

Esta energía de igual manera es el producto del movimiento y velocidad del viento sobre las aguas de los mares, provocando la formación de las olas, que al igual que las mareas se pueden utilizar su energía de movimiento para hacer girar turbinas acopladas a generadores eléctricos^[9].

Energía de Geotérmica

Esta energía se encuentra almacenada bajo la superficie de la tierra en forma de calor^[10]. Y puede ser extraída en forma de vapor y captada en turbinas para generar electricidad.

Energía Solar

Energía que proviene del sol, puede ser transformada en forma directa para obtener energía fototérmica que produce calor, y ésta a su vez, por medio de generadores adecuados, en energía eléctrica o calefacción doméstica e industrial; también puede ser transformada en energía fotovoltaica, que puede generar directamente energía eléctrica por medio de células solares^[11].

1.1.4. Fuentes No Renovables de Energía

Recursos energéticos que existen en una cantidad fija que pueden ser almacenados, y tienen la posibilidad de renovación por medio de procesos geológicos, físicos y químicos^[12].

Entre las fuentes no renovables de energía se tiene: el petróleo, gas natural, carbón, la energía nuclear.

^[9] ^[10] ^[11] ^[12] Tesis Modelización Energética en el Ecuador. ESPOL. Ingeniería Eléctrica. 1999. Pág. 24.

El petróleo, el gas y el carbón

La energía almacenada en los combustibles fósiles es energía química. Cuando el petróleo o sus derivados se queman se produce calor o energía calórica, que es finalmente la que se usa, ya sea directamente o transformada en electricidad.

El calor de la combustión es la suma de las pequeñas cantidades de energía que se producen cuando cada molécula de combustible fósil se combina químicamente con átomos de oxígeno. Cuando se quema gas, en realidad se está usando la energía solar que llegó a la tierra hace millones de años y fue almacenada en forma de combustible fósil ^[13].

Energía Nuclear

Es el aprovechamiento de la energía guardada en los núcleos de Uranio, esto se puede conseguir a partir de la fisión nuclear, que expide energía calórica y que es autosostenida en los reactores nucleares, para luego ser aprovechada en generar vapor de agua elevado a una alta presión, que es captada en turbinas que a su vez se encuentran acopladas con generadores eléctricos para generar energía eléctrica ^[14].

Para conocimiento en los reactores se utiliza el Isótopo del Uranio 235 pero es muy escaso, al momento también se utiliza el Isótopo del plutonio 239, proveniente de la irradiación del Uranio 238, con lo cual se optimizan la producción y consumo del plutonio elevando a unas 100 veces las reservas nucleares.

Hay otra forma de generar energía calórica, y ésta es a partir de la fusión nuclear de los isótopos de hidrógeno a muy altas temperaturas. Si se considera que este elemento se encuentra en el agua, se puede imaginar la cantidad de energía que se dispone para el futuro ^[15].

^[13] ^[14] ^[15] Tesis Modelización Energética en el Ecuador. ESPOL. Ingeniería Eléctrica. 1999. Pág. 29.

1.2. ENERGÍA SOLAR, NATURALEZA Y CAPTACIÓN.

1.2.1. El recurso solar

Las numerosas reacciones nucleares que existen en el interior del sol, hace que los entendidos prevean que se tenga energía solar para varios miles de años más. Una gran parte de esta energía llega a la Tierra en forma de radiación electromagnética comprendida en un gran espectro de frecuencia llamada comúnmente energía solar, la cual está formada básicamente por “luz” y “calor”.

Según estudios realizados la cantidad de energía solar que se recibe aproximadamente es de $1,1 \times 10^{20}$ KWh cada segundo ^[16]. La atmósfera exterior intercepta casi la mitad de una billonésima parte de la energía generada por el sol, o aproximadamente 1.5 trillones (1.5×10^{17}) de KWh al año ^[17]. Debido a la reflexión, dispersión y absorción producida por los gases de la atmósfera, sólo un 47% de esta energía, o aproximadamente 0.7 trillones de KWh, alcanzan la superficie de la tierra ^[18].

La demanda mundial de energía de todo un año, es aproximadamente de 85 billones de KWh al año. En este caso, la energía total consumida por el mundo significaría sólo 1/7.000 de la energía solar que incide sobre la superficie de la tierra cada año ^[19].

1.2.2. Irradiancia Extraterrestre

El término extraterrestre se refiere en este caso a la irradiancia que recibiría una superficie “S” en ausencia de la atmósfera. En la que, la superficie horizontal “S” forma un ángulo θ entre su normal y la dirección que toma la radiación incidente de Intensidad I. En la Figura 1.1, se puede observar y comprender de mejor manera este concepto.

^[16] ^[17] ^[18] http://www.solartronic.com/download/curso_iteso.pdf Página 15.

^[19] <http://saecsaenergiasolar.com/>

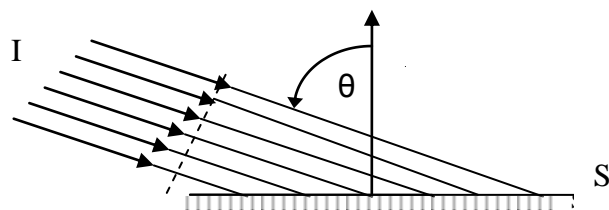


Figura 1.1 Irradiancia sobre una Superficie de área S

La potencia de la radiación solar que se recibe en un instante dado sobre una superficie determinada se la conoce como **Irradiancia** y viene determinada por:

$$P = I \times \text{Area Efectiva} = I \times \cos \theta \times S \quad (\text{W/m}^2) \quad (\text{Ec. 1.3})$$

1.2.2.1. La Constante Solar

El sol no emite un flujo de energía constante, algunos estudios indican que la variación de la emisión de energía por parte del sol, es menor al 1% a lo largo de un ciclo solar, que dura 22 años. Esto hace que sobre la superficie terrestre incide una cantidad de radiación solar casi constante, a esto se lo conoce como Constante Solar (G_{sc}). Que no es más que un flujo de energía proveniente del sol, que incide sobre una superficie en forma perpendicular, ubicada a la distancia media de la Tierra al Sol, fuera de la atmósfera ^[20].

Este flujo luminoso de energía, tiene unidades de energía por unidad de área y por unidad de tiempo. Ejemplo: $\text{J/s} \cdot \text{m}^{-2}$ equivalente a $\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$. Para efectos de cálculo se tiene que la distancia Tierra-Sol es “relativamente” fija, y se toma el valor promedio de la constante solar igual a $1353 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ ^[21].

Estos valores fueron aceptados por la NASA (1971) y por la ASTM.

En otras unidades:

$$G_{sc} = 1353 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} = 1940 \text{ cal/cm}^2 = 428 \text{ Btu/ft}^2 \text{ h} = 4871 \text{ KJ/m}^2 \text{ h} \quad [22].$$

^[20] ^[21] ^[22] Salgado Fernández. José Ma. Compendio de Energía Solar Fotovoltaica, Térmica y Eléctrica. AMV Ediciones. Mundi Prensa. 2008. Pág. 26-27.

1.2.2.2. Irradiancia Terrestre

Debido a que la atmósfera terrestre está constituida por gases, nubes, vapor de agua, partículas contaminantes y sólidos en suspensión, constituyen lo que se conoce comúnmente como masa de aire (AM por sus siglas en inglés Air Mass).

La Irradiancia se atenúa disminuyendo su valor por fuera de la atmósfera. Bajo condiciones de atmósfera limpia, sin ningún proceso óptico y estando el sol en el cenit, la Irradiancia máxima que un captador podría recibir es de 1.000 W/m^2 como un valor promedio normalizado ^[23].

1.2.3. Radiación Solar

Este factor de la energía solar, también se conoce como Insolación; y corresponde al valor acumulado de la Irradiancia en un tiempo dado que puede ser horaria, diaria, estacional o anual. Si el tiempo se mide en horas (h) y la Irradiancia se mide en (W/m^2). Entonces la radiación solar se expresa en Wh/m^2 por día, KWh/m^2 por día, o también se expresa en términos de **horas solares pico**. Una hora solar pico es equivalente a la energía recibida durante una hora, a una Irradiancia promedio de $1,000 \text{ W/m}^2$. Por lo tanto, una hora de luz solar plena equivale a 1 kWh/m^2 de energía. En la Figura 1.2 se puede observar de mejor manera a lo que se refiere este parámetro.



Figura 1.2 Irradiancia y horas solares Pico durante día soleado

^[23] <http://www.re.sandia.gov/wp/wpGuia/energia.html> Página 8

De todas las variables, sin duda ésta es la que determina la producción energética. La energía que produce el sistema fotovoltaico es directamente proporcional a la insolación que recibe. El valor de 1 kWh/m² en una hora, es aproximadamente la cantidad de energía solar registrada durante un día soleado de verano, con cielo despejado, en una superficie de un metro cuadrado, colocado en forma perpendicular al sol ^[24].

1.2.3.1. Radiación normal extraterrestre

Como se ha expuesto, la radiación extraterrestre que incide sobre la tierra está sujeta a las variaciones geométricas y a las condiciones físicas del propio sol. Por otro lado, la órbita que describe la Tierra alrededor del Sol no es circular, sino cuasielíptica. La excentricidad de la elipse, es la razón entre la distancia del centro de la elipse a un foco y el semieje mayor, y es igual aproximadamente a 0.017. Al ser esta excentricidad tan pequeña, la órbita terrestre podría asimilarse a una circunferencia de radio r_0 . La distancia media de la Tierra al Sol, r_0 , define una unidad de longitud denominada unidad astronómica, UA, cuyo valor es:

$$r = 1,495979 \cdot 10^8 \text{ k m} = 1 \text{ UA}$$

La excentricidad de la órbita hace que se tengan dos posiciones esenciales cuando la Tierra recorre su órbita alrededor del sol, como se muestra en la Figura 1.3.

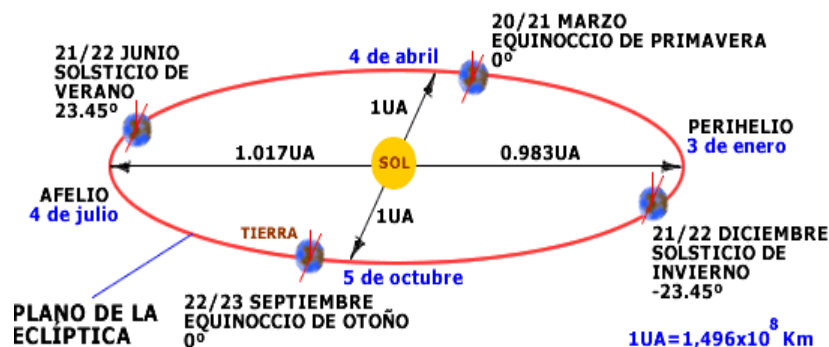


Figura 1.3 Posición de la Tierra con respecto al sol

^[24] <http://www.re.sandia.gov/wp/wpGuia/energia.html> Página 8

1. Alrededor del 3 de enero, la Tierra se encuentra en el perihelio; ésta es la distancia mínima con respecto al Sol, y se tiene una radiación máxima.
2. Alrededor del 4 de julio, seis meses después, la Tierra se encuentra en el afelio, y la distancia con respecto al Sol es máxima; aquí la radiación es mínima.

La ecuación que describe el flujo de energía sobre un plano normal a la radiación solar extraterrestre a lo largo de un año es:

$$G_{on} = G_{sc} \left[1 + 0.033 \cos \frac{360 n}{365} \right] \quad (\text{Ec. 1.4})$$

Donde:

G_{on} : Flujo de radiación extraterrestre, medida en un plano normal en W/m^2

G_{sc} : Constante Solar en W/m^2

n : Número del día del año.

En la ecuación anterior, los subíndices: “sc” se usa para la constante solar; el subíndice “on” se usa para la radiación extraterrestre, y por último, el subíndice “n” se utiliza para el día del año en que se desea encontrar la radiación. Mediante la Tabla 1.1, se puede encontrar la radiación solar extraterrestre en cualquier día del año.

Mes	"n" para el i-ésimo día del mes
Enero	I
Febrero	31 + i
Marzo	59 + i
Abril	90 + i
Mayo	120 + i
Junio	151 + i
Julio	181 + i
Agosto	212 + i
Septiembre	243 + i
Octubre	273 + i
Noviembre	304 + i
Diciembre	334 + i

Tabla 1.1 Ecuación para convertir el día del mes en el número de día del año

1.2.3.2. Componentes de la radiación Solar Terrestre

La radiación que se recibe sobre la superficie terrestre, consta de dos componentes: La radiación directa (R_D) y la radiación Difusa (R_d).

Componente directa (R_D).- Radiación solar atenuada por la atmósfera que llega a la superficie de la Tierra sin cambiar de dirección.

Componente difusa (R_d).- Radiación que llega a la Tierra después de interactuar con la atmósfera, en tal grado que pierde su dirección original.

Para comprender mejor, en la Figura 1.4 se puede observar la descomposición de la radiación solar antes y después de atravesar la atmósfera.

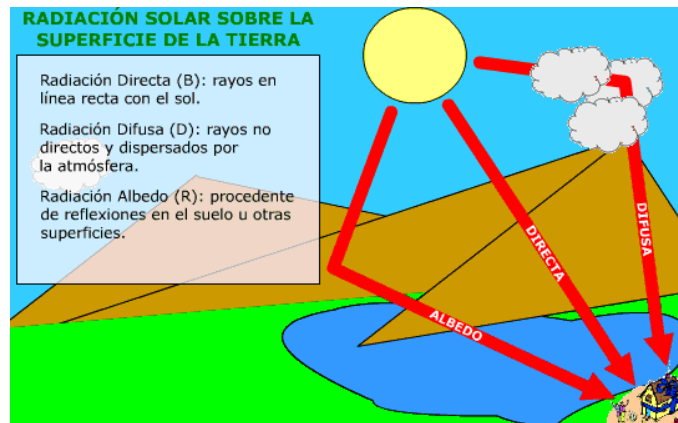


Figura 1.4 Componentes de la radiación global sobre una superficie inclinada

Espectros de Frecuencia

En la Figura 1.5 se presenta la distribución espectral de la radiación solar en función de la frecuencia.

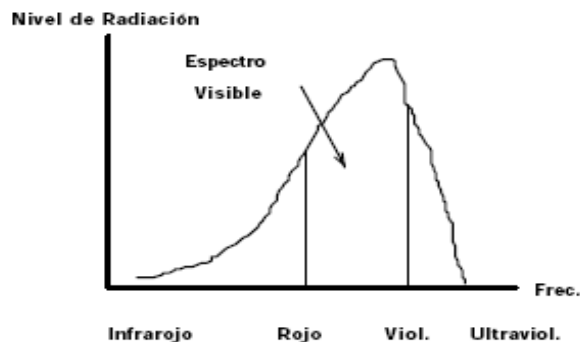


Figura 1.5 Espectro luminoso de luz Solar

Radiación solar ultravioleta.- Representa un 9% de la energía solar total que llega a la Tierra, y que para fines prácticos se subdivide en tres tipos: UVA, UVB y UVC.

Radiación solar visible.- Espectro visible o luz visible, representa el 40% de la energía solar total que llega a la Tierra, su ventana espectral está limitada entre los 0.400 y 0.770 μm .

Radiación solar infrarroja.- Infrarrojo cercano, aproximadamente aporta un 51% de la energía solar que llega a la Tierra.

La distribución espectral de la radiación en la superficie de la Tierra ha sido extensamente estudiada y se ha propuesto una serie de curvas a modo de patrón, para diferentes masas de aire. La masa de aire, AM, es una medida de la distancia que recorre la radiación al atravesar la atmósfera y que varía según el ángulo de incidencia.

La Tabla 1.2 indica la distribución de energía transmitida en tres intervalos de longitud de onda, para diversas masas de aire m, y se basa en la constante solar de 1.896 cal/min. cm^2 .

Intervalo de longitud de onda, m	Energía transmitida, cal. / (min.)(cm^2)					
	M = 0	1	2	3	4	5
Ultravioleta, 0.29-0.40	0.136	0.057	0.029	0.014	0.008	0.004
Visible, 0.40-0.70	0.774	0.601	0.470	0.371	0.295	0.235
Infrarrojo, por encima de 0.70	0.986	0.672	0.561	0.486	0.427	0.377
Totales Cal. Por minuto, por cm^2	1.896	1.330	1.060	0.871	0.730	0.616

Tabla 1.2 Valores de Energía para distintas Masa de Aire AM

1.2.4. La trayectoria solar

Además de las condiciones atmosféricas, hay otro parámetro que afecta radicalmente a la incidencia de la radiación sobre un captador solar, éste es el movimiento aparente del sol a lo largo del día y a lo largo del año. Se dice "aparente" porque en realidad la Tierra es la que está girando y no el sol. La tierra tiene dos tipos de movimientos: uno alrededor de su propio eje (movimiento rotacional) el cual da lugar al día y la noche y el otro; alrededor del sol (movimiento traslacional) siguiendo una trayectoria elíptica, el cual da lugar a las estaciones del año. En la figura 1.6 se presenta el movimiento del sol a lo largo del día en las dos épocas de Solsticio.

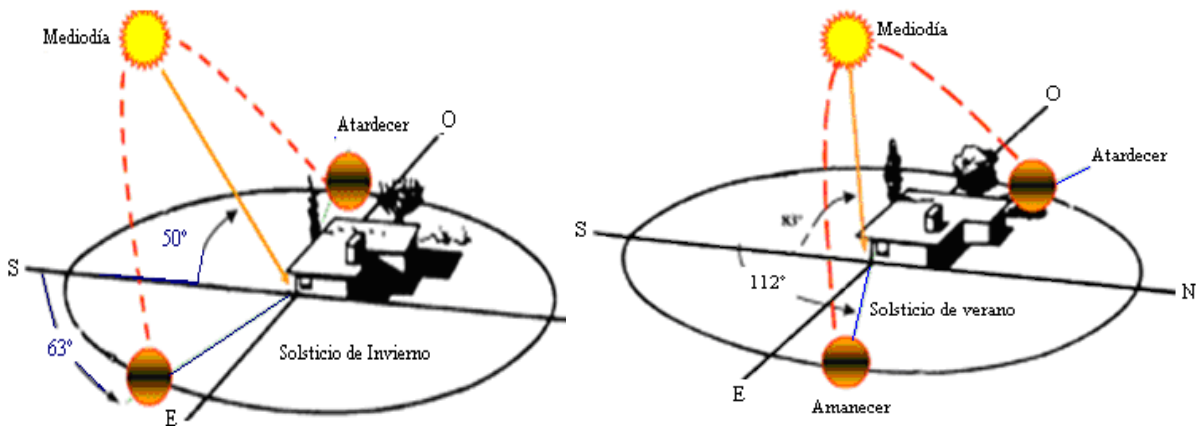


Figura 1.6 Movimiento aparente del sol en función de la hora del día y la época del año

1.2.5. Orientación

La intensidad y cantidad de energía solar que pueden recogerse depende de la orientación del dispositivo receptor. Por lo tanto, en la práctica, los paneles solares deberán ser colocados en ángulo con el plano horizontal (inclinados).

En realidad, la radiación directa es la que interesa, con el fin de poder aprovechar al máximo los rayos solares. Para éstos se recomienda colocar los paneles orientados de la siguiente manera:

1. En el Hemisferio Norte, el panel deberá orientarse hacia el sur.
2. En el Hemisferio Sur, hacia el norte.

1.2.6. Ángulo de inclinación

Debido al movimiento terrestre alrededor del sol, existen variaciones estacionales en las cuales es necesario que los paneles solares deban ser instalados en un ángulo fijo, determinado en algún punto entre los ángulos óptimos para el verano y para el invierno.

En otros países, en la época de verano los paneles solares deberían ser colocados en posición ligeramente más horizontal para aprovechar al máximo la luz solar. Sin embargo, los mismos paneles no estarán en posición óptima para el sol del invierno.

Para entender de mejor manera, se puede ver en la Figura 1.7, que el ángulo de inclinación del panel para un sol de invierno es de 75° y para un sol de verano es de 30° a 45° .

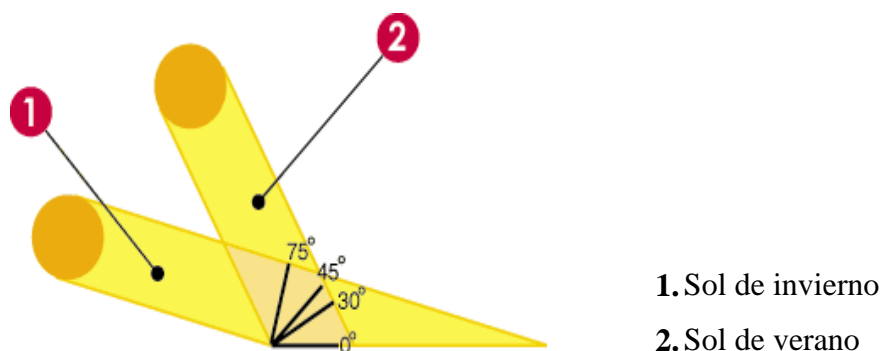


Figura 1.7 Ángulo de inclinación óptimo en verano e invierno

Según los entendidos se recomienda que para cada latitud se utilice como referencia un ángulo de inclinación para la superficie colectora que es igual al de la latitud del lugar.

Los valores así obtenidos son complementados con mediciones hechas para ángulos de inclinación que varían $\pm 15^\circ$ respecto del valor de referencia. El ángulo de inclinación de la superficie colectora, es el ángulo β que ésta forma con la horizontal, tal como lo ilustra la Figura 1.8

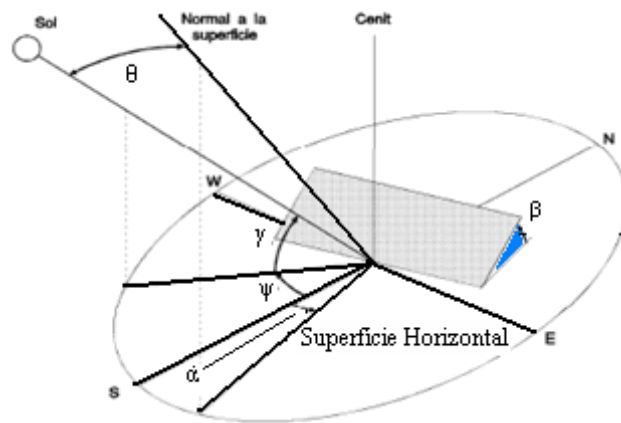


Figura 1.8 Ángulo de Incidencia de los rayos solares sobre una superficie

La diferencia de altura respecto a la horizontal varía con la latitud del lugar. Ligeras desviaciones de unos 5 grados con respecto del ángulo de inclinación óptimo tienen sólo un efecto menor en la producción de energía; además, se necesita que el panel fotovoltaico se mantenga apuntando directamente al sol, para recibir su máxima radiación. Es decir, cuando los rayos inciden perpendicularmente en él se obtiene el mayor beneficio; y para lograr esto se necesita seguirle al sol durante el día y durante todo el año, requiriéndose el ajuste de dos ángulos muy necesarios como son:

- El ángulo **azimut** ψ , para seguir el movimiento diario del sol de este a oeste. Se cuenta a partir del Sur, de 0° a $\pm 180^\circ$, positivamente hacia el Oeste y negativamente hacia el Este.
- El ángulo de **elevación** α , para seguir el movimiento anual de la trayectoria solar en la dirección norte-sur. Se mide a partir del horizonte de 0° a 90° , positivamente hacia el cenit y negativamente hacia el nadir. En lugar de la altura se emplea frecuentemente el ángulo cenital, θ_z . Se cuenta a partir del cenit, de 0° a 180° , dando una relación entre la altura solar y el ángulo cenital :

$$\theta_z = 90^\circ - \alpha$$

En la Figura 1.9, se puede observar con mayor claridad el ángulo azimutal que se forma por la componente horizontal de la radiación solar directa con la dirección Norte-Sur en el hemisferio norte

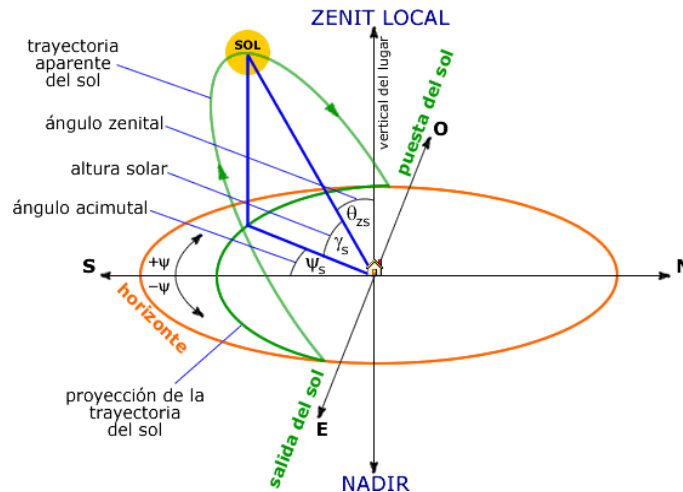


Figura 1.9 Coordenadas Solares Terrestres

1.2.7. Captación de Energía Solar

El sol es una fuente limpia e inagotable para el hombre. Se puede aprovechar en toda la superficie terrestre en mayor o menor grado. Su abundancia y disponibilidad la hacen óptima para múltiples usos, por lo que de forma directa o indirecta, de forma natural o artificial, es una constante en la estructura agrícola, urbana, industrial, etc.

Conviene diferenciar las distintas formas de captación solar que se consideran dentro del concepto de energías renovables. En la Figura 1.10 aparecen de forma esquemática los diversos procedimientos de captación.

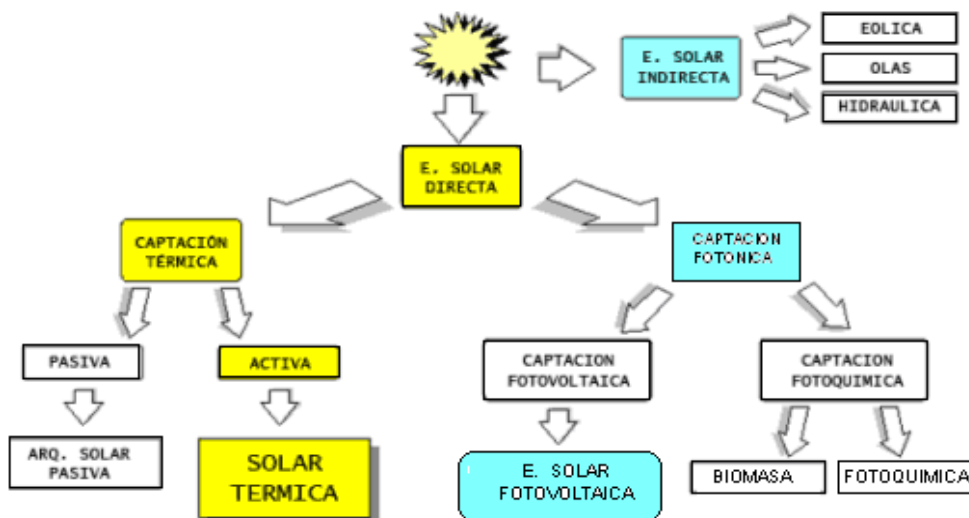


Figura 1.10 Aprovechamiento y captación de Energía Solar

Entre los posibles aprovechamientos de la energía solar directa se pueden destacar los usos térmicos y entre los más comúnmente utilizados la energía solar pasiva que es una forma de aprovechamiento que capta la energía solar, la almacena y distribuye de forma natural sin mediación de elementos mecánicos; y la energía solar térmica activa a baja temperatura en los que si hay un elemento mecánico que ayuda a captar la energía solar térmica.

Por otro lado, de la captación de Energía Solar Directa se puede obtener la producción de energía eléctrica a través de la captación fotónica, que luego de ser captada en paneles fotovoltaicos se convierte en energía eléctrica, que es el tema de estudio en este trabajo.

1.3 CAPTACIÓN FOTOVOLTAICA, VENTAJAS Y APLICACIONES.

1.3.1. Energía Fotovoltaica

La radiación electromagnética solar visible, está constituida por una enorme cantidad de entes físicos, llamados cuantos de luz (fotones), portadores de una importante carga energética, que al atravesar la superficie de materiales con determinadas características, como son los semiconductores, interactúan con sus electrones, generando dos tipos de efectos:

a) El Fotoeléctrico externo

b) El Fotovoltaico

1.3.1.1. Efecto Fotovoltaico

La palabra fotovoltaica se compone de dos términos: Foto = Luz, Voltaica = Electricidad. Este efecto consiste en el aprovechamiento y transformación de las emanaciones electromagnéticas de energía luminosa que se recibe del sol, en Energía Eléctrica.

En la Figura 1.11 se puede observar como los fotones provenientes de la radiación solar es captada en las celdas solares y transformada en energía eléctrica por el flujo de electrones.

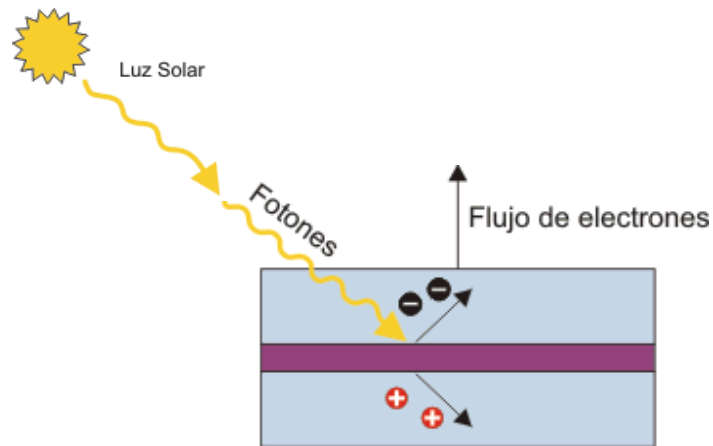


Figura 1.11 Efecto fotovoltaico en una célula solar

1.3.2 Celdas Solares

Las células o celdas solares son dispositivos que convierten energía solar en electricidad, ya sea directamente vía el efecto fotovoltaico, o indirectamente mediante la previa conversión de energía solar a calor, o energía química.

Funcionamiento

Para entender la operación de una célula fotovoltaica, se debe considerar la naturaleza del material y la naturaleza de la luz del sol. Las celdas solares están formadas por materiales semiconductores que aprovechan la luz de ciertas longitudes de onda y que pueden ionizar los átomos en el material al provocarse el efecto fotovoltaico, esta energía golpea los electrones libres permitiéndoles fluir libremente, originando así, un circuito eléctrico normal de pequeñas corrientes eléctricas, obteniendo así una diferencia de potencial.

En la Figura 1.12 se puede ver como los huecos (+) se mueven hacia la capa positiva de tipo p y los electrones hacia la capa negativa tipo n.

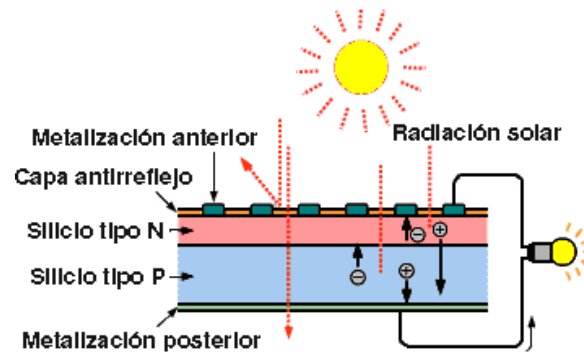


Figura 1.12 Funcionamiento de Las Celdas Solares

Aunque estas cargas opuestas se atraen mutuamente, la mayoría de ellas solamente se pueden recombinar pasando a través de un circuito externo fuera del material debido a la barrera de energía potencial interna.

1.3.2.1. Energía solar absorbida por las celdas fotovoltaicas

La luz que golpea a las celdas, tiene fotones con una gran variedad de energía, sólo se requiere una cierta cantidad de energía medida en electrón-volt para golpear un electrón libre (para el caso del silicio cristalino se requiere 1.1 eV). A esto se le llama banda de intervalo de **energía de un material** (band gap energy).

Como se observa en la Figura 1.13, la luz puede ser separada en diferentes longitudes de onda, las mismas que tienen una frecuencia y cada una tiene un diferente valor de radiación que se mide en energía electromagnética.

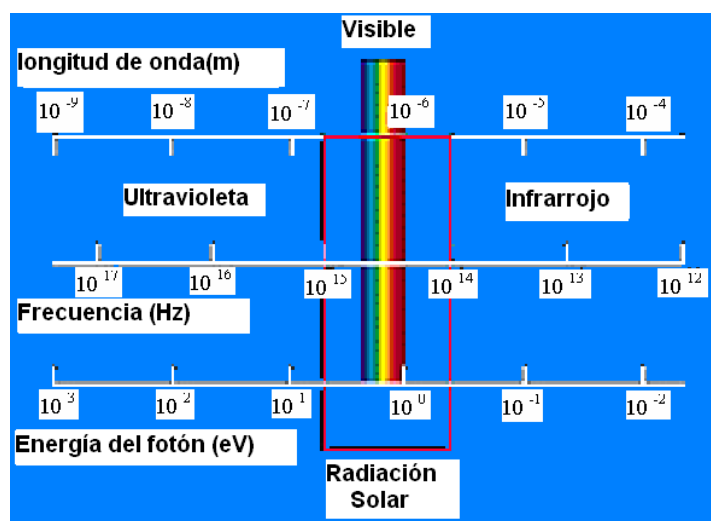


Figura 1.13 Espectro de la Energía Solar

1.3.2.2. Composición y Materiales de fabricación de celdas solares

Las celdas están formadas por un material semiconductor, los mismos que permiten una eficiencia aceptable de conversión de energía luminosa a eléctrica. Existen diferentes materiales semiconductores para elaborar celdas solares combinados con impurezas (dopado).

En la Figura 1.14 se muestra la configuración de una celda solar con las dos capas semiconductoras tipo “p” y tipo “n”.

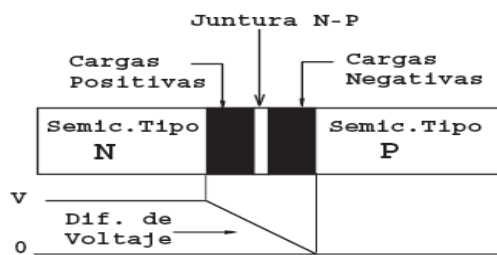


Figura 1.14 Configuración de una Celda Solar

Una de las regiones se dopa con fósforo, de manera que esta región dopada se le denomina de tipo “n”. La otra región de dopa con boro, a esta región se le denomina de tipo “p”, formando de esta manera un semiconductor conformado por dos regiones, una región de tipo “p” y otra región de tipo “n”.

Los materiales más conocidos y desarrollados que son utilizados para construir celdas solares son los siguientes: el Silicio, Sulfuro de cadmio y de cobre, Arseniuro de Galio de características parecidas al silicio, Teluro de cadmio (CdTe), Diseleniuro de Indio-Cobre (CuInSe₂)^[25].

Pero el material que más se utiliza comúnmente, es el silicio en sus diferentes formas de fabricación. Estos materiales se han desarrollado a través de diferentes tecnologías dando lugar a células de silicio de diferentes tipos como son:

Las **monocristalinas** que actualmente pueden convertir hasta el 25% de la energía solar en electricidad. La eficiencia en módulos está entre 15 y 17%. Algunos fabricantes los garantizan hasta por 25 años. Su coste de producción es alto^[26].

^[25] ^[26] http://www.acapomil.cl/investigacion/boletines/boletin_2004/articulos/solar.htm

Las **policristalinas**, en la actualidad tienen una eficiencia de menos del 15% y los módulos comerciales alcanzan entre 10% y 14%. La garantía del producto puede ser hasta por 20 años dependiendo del fabricante. Son económicas por fabricarse con los residuos de las anteriores, por lo que su proceso de cristalización es más breve^[27].

Las de **silicio amorfo**, su gran ventaja es que no necesitan ensamblarse celdas solares individuales, al contrario permiten un mejor aprovechamiento de las placas delgadas de silicio, las mismas que son depositados sobre placas de vidrio, plástico o metal. Logrando de esta manera obtener un panel de una sola placa, fácil de construir, de baja eficiencia, pero económicos. Pueden absorber el espectro de luz visible, aunque no puede absorber el espectro de luz infrarrojo. Tienen actualmente una eficiencia cerca del 10%; en módulos comerciales alcanza entre un 5% y 7%, lo que los hace muy económicos^[28].

1.3.2.3. Características de las celdas Solares de Silicio actuales

Una típica célula fotovoltaica de silicio monocristalino tiene una forma normalmente cuadrada, con aproximadamente 10 cm. de lado, con un grosor que varía entre los 0,25 y los 0,35 mm, con una superficie de más o menos 100 cm², la misma que producirá cerca de 1.5 Watts de energía a 0.5 voltios de Corriente Continua y 3 Amperios bajo la luz del sol en pleno verano^[29].

La energía de salida de la célula es casi directamente proporcional a la intensidad de la luz del sol. Para comparar diversas celdas se las clasifica por densidad de corriente, o amperios por centímetro cuadrado del área de la célula.

1.3.3. Ventajas

Frente a la gran demanda de energía eléctrica a nivel mundial, este sistema brinda en algunos casos muchas ventajas por encima de otras opciones energéticas convencionales. Entre las principales ventajas de este sistema se pueden enumerar las siguientes:

[27] <http://www.textoscientificos/celdassolares.com>

[28][29] <http://www.modulosolares.com/modulos>

- Fácil de instalarse y transportarse.
- Recomendada para lugares aislados y lejanos.
- No contamina, ni calienta el medio ambiente.
- Tiene una vida útil superior a 20 años.
- Es resistente a condiciones climáticas extremas: granizo, viento, temperatura y humedad).
- No produce ruidos, ni produce residuos radioactivos.

1.3.4. Aplicaciones de la Energía Fotovoltaica

Las primeras aplicaciones de las celdas solares, fue en satélites artificiales. Las ventajas encontradas en este tipo de generadores fueron: peso reducido, larga vida, ocupación de espacio mínima, y nivel de insolación elevado y continuo por estar fuera de la atmósfera terrestre. Pero, más allá de las aplicaciones espaciales, los sistemas fotovoltaicos tienen las siguientes aplicaciones:

- a. Electrificación rural y de viviendas aisladas.-** Existen muchas zonas rurales y viviendas aisladas, instalaciones médicas, para casas de campo, bombeo para sistemas de riego, agua potable en áreas rurales, debido a que llevar energía eléctrica por medio de la red general sería demasiado costoso.
- b. Comunicaciones.-** Son una excelente solución cuando hay necesidad de transmitir cualquier tipo de señal o información desde un lugar aislado, por ejemplo: repetidores de señales de TV, plataformas de telemetría, radioenlaces, estaciones meteorológicas.
- c. Ayudas a la navegación.-** Aquí la aplicación puede ser relativa a la navegación misma o a sus señalizaciones, como alimentar eléctricamente faros, boyas, balizas, plataformas y embarcaciones.
- d. Transporte Terrestre.-** Iluminación de cruces de carretera peligrosos y túneles largos, alimentación de radioteléfonos de emergencia o puestos de socorro lejos de líneas eléctricas. Señalizaciones de pasos a desnivel o cambio de vías en los ferrocarriles, Parquímetros, Postes SOS (Teléfonos de emergencia de carretera).

1.4. DESCRIPCIÓN DE ELEMENTOS DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO

1.4.1. El Sistema Fotovoltaico

Se define al sistema fotovoltaico como un conjunto de componentes mecánicos, eléctricos y electrónicos que concurren a captar y transformar la energía solar que se dispone, para luego transformarla en utilizable como energía eléctrica.

Esta última es acondicionada según los requerimientos y necesidades de una aplicación determinada, y ser aprovechada por el hombre.



Figura 1.15 Instalación Solar fotovoltaica con Inversor para conexión a Red Vca.

En la Figura 1.15 se tiene un sistema de energía fotovoltaica el mismo que consta de los siguientes elementos: Módulo de celdas solares, Regulador de voltaje, Controlador de carga de batería, un inductor de corriente CD/AC o un rectificador AC/DC, baterías de almacenamiento, instrumentos, cables e interruptores, red eléctrica circundante.

1.4.1.1. Funcionamiento del Sistema Fotovoltaico

En un sistema típico, el proceso de funcionamiento es el siguiente: la luz solar incide sobre la superficie del arreglo fotovoltaico, donde es transformada en energía eléctrica de corriente directa por las celdas solares; esta energía es recogida y conducida hasta un

controlador de carga, el cual tiene la función de enviar toda o parte de esta energía hasta el banco de baterías, en donde es almacenada, cuidando que no se excedan los límites de sobrecarga y sobredescarga; en algunos diseños, parte de esta energía es enviada directamente a las cargas. Estos sistemas, independientemente de su utilización y del tamaño de potencia, se pueden dividir en dos categorías:

- Sistemas Interconectados a la red (grid connected).
- Sistemas Aislados (stand alone).

1.4.1.2. Sistemas Interconectados

Los sistemas interconectados están permanentemente conectados a la red eléctrica nacional. En las horas de irradiación solar escasa o nula, cuando el generador fotovoltaico no produce energía suficiente para cubrir la demanda de electricidad, es la red que proporciona la energía necesaria. Viceversa, si durante las horas de irradiación solar el sistema fotovoltaico produce más energía eléctrica de la que se gasta, el exceso se transfiere a la red.

1.4.1.3. Sistemas Aislados o Autónomos

Los sistemas aislados, se utilizan normalmente para proporcionar electricidad a los usuarios con consumos de energía muy bajos, para los cuales no compensa pagar el costo de la conexión a la red eléctrica, y para los que sería muy difícil conectarlos debido a su posición poco accesible: a partir de distancia superiores a 3 Km. de la red eléctrica, podría resultar conveniente instalar un sistema fotovoltaico.

1.4.2. Elementos del Sistema Fotovoltaico

1.4.2.1. Panel Fotovoltaico

Un arreglo de varias celdas solares conectadas eléctricamente unas con otras y montadas en una estructura de apoyo, se lo llama módulo fotovoltaico como se observa en la Figura 1.16.

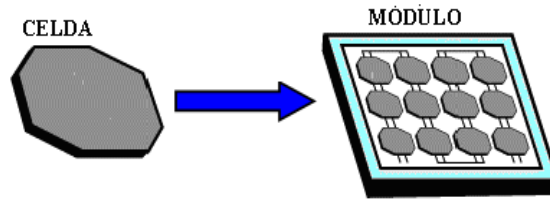


Figura 1.16 Conformación de un Módulo Fotovoltaico

Fabricación de un panel fotovoltaico

Un panel fotovoltaico está formado por un conjunto de células solares conectadas eléctricamente. Este conjunto de células está envuelto por unos elementos que le confieren protección frente a los agentes externos y rigidez para acoplarse a las estructuras que los soportan. Los elementos que conforman un panel fotovoltaico se muestran en la Figura 1.17.

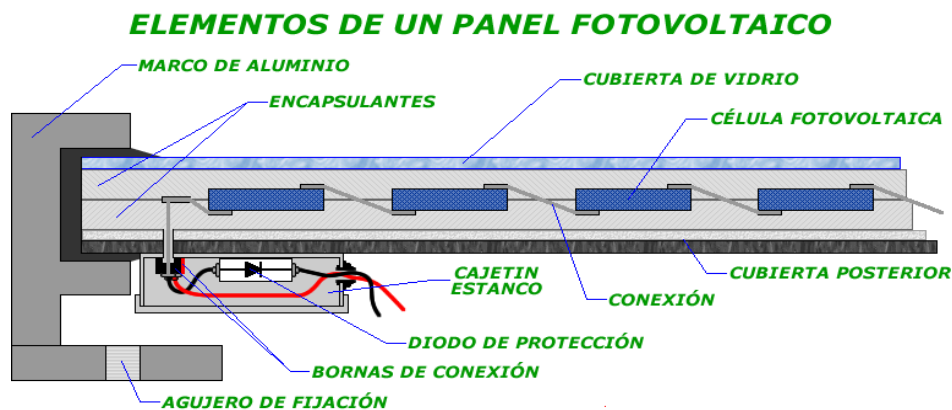


Figura 1.17 Corte transversal de un panel fotovoltaico

Las partes que constituyen un panel, tienen ciertas características; las mismas que se indican a continuación:

- a. Encapsulante, constituido por un material que debe presentar una buena transmisión a la radiación y una degradabilidad baja a la acción de los rayos solares.
- b. Cubierta exterior de vidrio templado, que, aparte de facilitar al máximo la transmisión luminosa, debe resistir las condiciones climatológicas más adversas y soportar cambios bruscos de temperatura.

- c. Cubierta posterior, constituida normalmente por varias capas opacas que reflejan la luz que ha pasado entre las células, haciendo que vuelvan a incidir otra vez.
- d. Marco de metal, normalmente de aluminio, que asegura rigidez y estanqueidad al conjunto, lleva agujeros para el montaje del panel sobre la estructura soporte.
- e. Caja de terminales: incorpora los bornes para la conexión del módulo.
- f. Diodo de protección: impiden daños por sombras parciales de energía en la superficie del panel.

Las características de potencia, tensión corriente, etc., están en función de la cantidad de celdas con que se dota a cada modelo, así como de su configuración; bien sea en serie y/o paralelo y de cuánta luz llega hasta el módulo.

En el mercado, también se encuentran otros paneles fotovoltaicos; su proceso de fabricación es igual, la única y gran diferencia radica en que se agrega un baño de una delgada capa de silicio amorfo sobre una superficie de vidrio o plástico, logrando obtener una sola placa, estos paneles son más económicos y son utilizados en sistemas de baja potencia.

1.4.2.2. Conexión de celdas

Los módulos pueden tener diferentes tamaños, los más utilizados están formados por 36 celdas conectadas eléctricamente en serie, con una superficie que oscila entre los 0,5 m² a los 1,3 m², alcanzando una potencia de 50 Wp (Watt pico), de energía solar bajo condiciones de luz solar plena.

El número de celdas que contienen los módulos depende de la aplicación para la que se necesita. Con la conexión de las celdas se pueden encontrar los voltajes y corrientes deseados, según el siguiente criterio:

- a. Conexión serie**, conexionadas de forma que el lado p sea conectado con el lado n de otra célula, así sucesivamente, quedando cada extremo con un lado n y otro p. Las tensiones generadas de cada celda se suman, la corriente es el valor de una celda.
- b. Conexión paralelo**, conexionados todos los lados de tipo p, por un lado, y los de tipo n por otro. La tensión generada es la de una celda y la corriente es la suma de todas.

- c. **Conexión mixta**, es la conexión en serie y en paralelo de las celdas. Donde la tensión generada es la suma de las tensiones de células en serie y la corriente es la suma de todas las células en paralelo.

De lo expuesto anteriormente se puede resumir en lo siguiente:

$I_{\text{total}} = I \times \text{número de celdas en paralelo}$

$V_{\text{total}} = V \times \text{número de celdas en serie}$

De esta manera se puede configurar el número de celdas conectadas en serie para tener módulos que sirvan para cargar acumuladores de 6V, 12 V y 24 V. De igual manera, dependiendo de las necesidades; los paneles fotovoltaicos pueden ser conectados en serie o paralelo con el propósito de incrementar el voltaje o la corriente.

Conexión Serie

Los módulos solares se conectan en serie para obtener voltajes de salida más grandes. El voltaje de salida (V_s), de módulos conectados en serie está dado por la suma de los voltajes generados por cada módulo $V = V_1 + V_2 + V_3 + \dots$

Una forma fácil de entender el concepto de sistemas conectados en serie, es mediante la analogía presentada en la Figura 1.18.

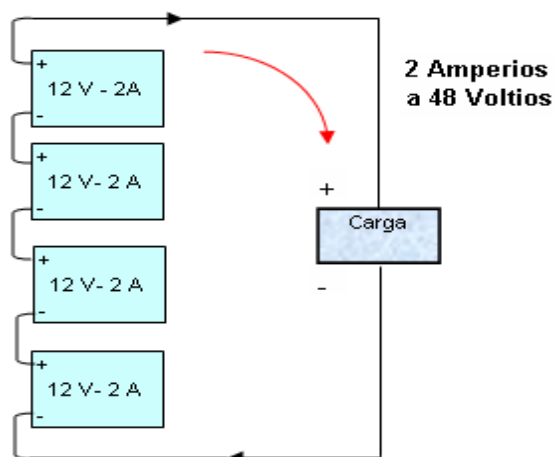


Figura 1.18 Analogía de una conexión de 4 paneles de 12V-2A en serie

Como se puede observar en el sistema, se suman los 4 Voltajes de 12 Voltios lo cual da 48 Voltios a una corriente de 2 Amperios conectados en serie.

Conexión Paralelo

Los módulos solares o paneles se conectan en paralelo para obtener corrientes más grandes. El voltaje del conjunto es el mismo que el de un módulo; pero la corriente de salida, es la suma de cada unidad conectada en paralelo. En la Figura 1.19 se presenta la configuración de conexión en paralelo de 4 paneles.

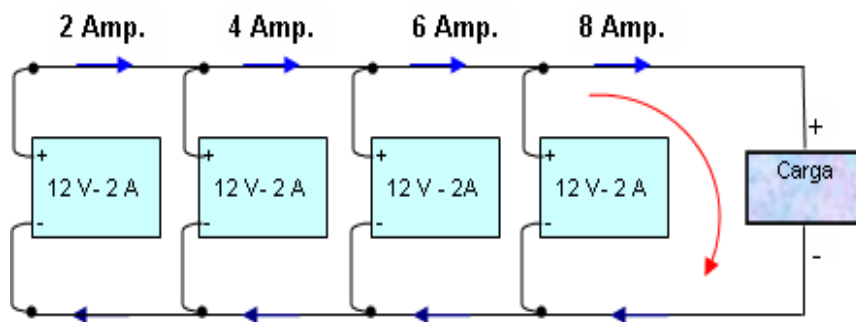


Figura 1.19 Analogía de una conexión de 4 paneles FV de 12 V-2A en paralelo

De manera similar al sistema conectado en serie, en los sistemas conectados en paralelo el voltaje permanece constante y la corriente de salida de los cuatro módulos es sumada, $I_T = I_1 + I_2 + I_3 + \dots$ produciendo un sistema a 12 Voltios y 8 amperios de corriente.

1.4.2.3. Características Técnicas de los Módulos Fotovoltaicos

Los paneles fotovoltaicos, tienen características eléctricas diferentes; entre las principales están las siguientes:

- Corriente a corto circuito (I_{cc}).**- Es la máxima corriente generada por el módulo solar y se mide cuando se conecta un circuito exterior a la celda con resistencia nula. La unidad de medición es el Amperio (A). Su valor depende del área superficial y de la radiación luminosa.
- Tensión nominal (V_m).**- Es el voltaje nominal que en la mayoría de los módulos fluctúa entre los 16 y 17.5 voltios.

- c. **Voltaje a circuito abierto (Voc).**- Es el voltaje máximo que genera un módulo solar. Este voltaje se mide cuando no existe un circuito externo conectado al módulo.
- d. **Potencia Pico (Pp).**- La potencia pico de un elemento fotovoltaico, se define como la máxima potencia eléctrica que éste puede generar bajo las siguientes condiciones estándares de medida: Irradiación: 1000W/m², Temperatura de 25° C, AM: 1.5, en países fabricantes como: España, Alemania, Holanda, Estados Unidos, entre otros.

1.4.2.3.1. Potencia Efectiva del Panel

Los paneles solares tienen espacios o zonas que no aprovechan la energía solar, razón por la cual; se debe calcular en primera instancia, la potencia máxima que generará el panel con respecto al área efectiva que se encuentra bajo la acción de la radiación solar.

Este valor de potencia se verá afectado por la eficiencia del material con el cual está fabricado el panel. Esta explicación se la puede entender de mejor manera al aplicar la siguiente ecuación:

$$P_{\text{panel esp.}} = K \times A_{\text{panel}} \times E_f \quad [30] \qquad \text{(Ec. 1.5)}$$

Donde:

K: Constante de radiación solar que incide sobre la superficie terrestre 1000W/m².

A: Área efectiva del panel en m².

Ef: Eficiencia del material con el que se encuentra fabricado el panel.

La potencia máxima o tamaño de los módulos comerciales varía entre 25 y 300 Watts.

Cada módulo tiene en su parte posterior una placa con el modelo y las especificaciones eléctricas, a manera de ejemplo en la Tabla 1.3 se indican las características técnicas de un panel solar de la compañía Solarex.

[30] Medina de Prócel Margarita. Estudio de Sistemas Fotovoltaicos como Fuente Renovable de Energía. EPN. Ingeniería Eléctrica. 1982. Pág. 54-55.

Modelo	VLX-53
Pp	53W
Vp	17.2 V
Ip	3.08 A
Vca	21.5 V
Icc	3.5 A
Condiciones	1000 W/m ² 25°C

Tabla 1.3 Características Técnicas de un Módulo Solarex VLX-53.

1.4.2.4. Curvas características

La característica I-V del módulo varía con las condiciones ambientales (radiación, temperatura). Ello quiere decir que habrá una familia de curvas I-V que muestran las características de salida del módulo durante el día y una época del año.

En la Figura 1.20 se indica cómo se genera la curva de potencia, al multiplicar la corriente y el voltaje en cada punto de la curva I-V.

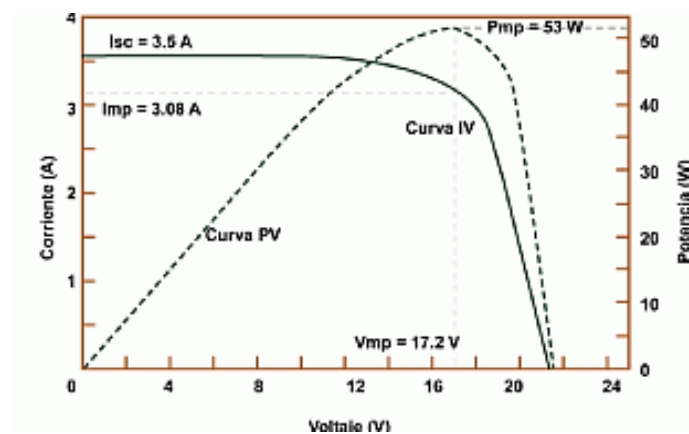


Figura 1.20 Curva I-V y P-V para un Módulo Fotovoltaico 1000 W/m² y 25°C

a. Curva Corriente-Voltaje

El comportamiento de la corriente en función del voltaje, depende de las diferentes intensidades de la radiación solar. En la Figura 1.21 se puede ver como a diferentes horas del día va en aumento la intensidad de corriente, conforme aumenta la radiación solar en el

transcurso del día, pero hay una característica que se puede observar como es la permanencia casi constante del voltaje.

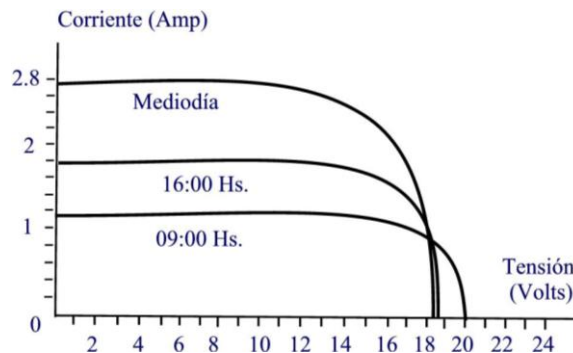


Figura 1.21 Curva I-V para diferentes radiaciones solares

b. Curva Potencia - Tiempo

La curva de potencia máxima de un módulo en función de la hora del día, tiene la forma indicada en la Figura 1.22, la cantidad de energía que el módulo es capaz de entregar durante el día está representada por el área comprendida bajo la curva y se mide en Watts hora/día. Se observa que no es posible hablar de un valor constante de energía entregada por el módulo, ya que varía dependiendo de la hora del día.

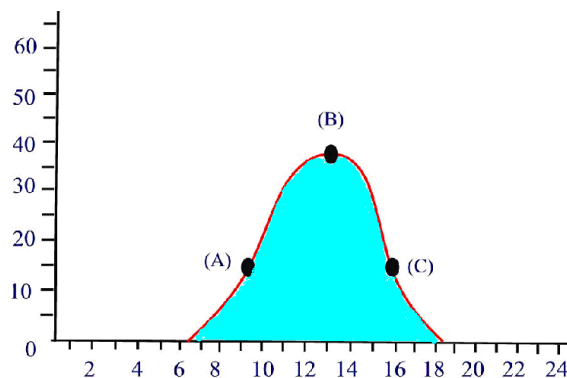


Figura 1.22 Curva de Potencia en función de la radiación solar a diferentes horas

c. Curva Corriente –Temperatura

El efecto que produce la temperatura sobre la producción de corriente en el módulo, se manifiesta en la reducción del voltaje del módulo. La potencia nominal se reduce

aproximadamente 0.5% por cada grado centígrado por encima de 25 °C. Este efecto se observa en la Figura 1.23.

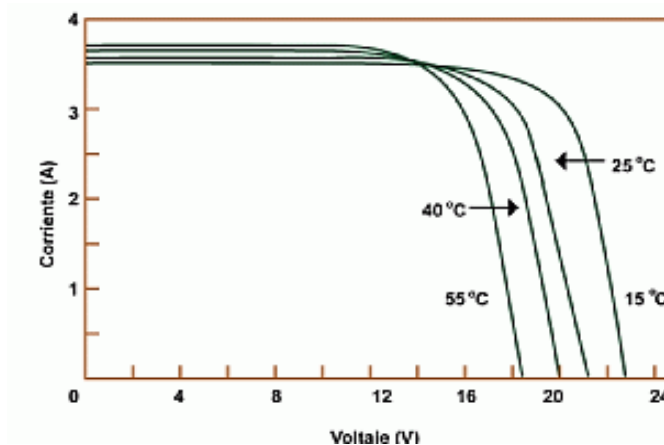


Figura 1.23 Dependencia de la I producida en función del V para diferentes Temperaturas.

El aumento de temperatura en las células supone un incremento en la corriente, pero al mismo tiempo una disminución mucho mayor, en proporción, de la tensión. El efecto global es que la potencia del panel disminuye al aumentar la temperatura de trabajo del mismo. Una radiación de 1.000 W/m² es capaz de calentar un panel unos 30 grados por encima de la temperatura del aire circundante, lo que reduce la tensión en 2 mV/(célula*grado).

1.4.3. Batería

La energía se acumula en una batería, para almacenar en un momento dado energía química, que devuelve en otro momento en forma de energía eléctrica, éstos deben ser dimensionados de la manera que garanticen una suficiente autonomía para los períodos en los que el sistema fotovoltaico no produce electricidad.

Los acumuladores constan por lo general de dos clases de placas (electrodos), sumergidas en una solución ácida electrolítico.

En la Figura 1.24 se puede observar una batería cargada, en la que no existe reacción química, la conexión de una carga, produce la reacción interna de los elementos en la batería, produciendo la descarga de la misma (Figura 1.25).

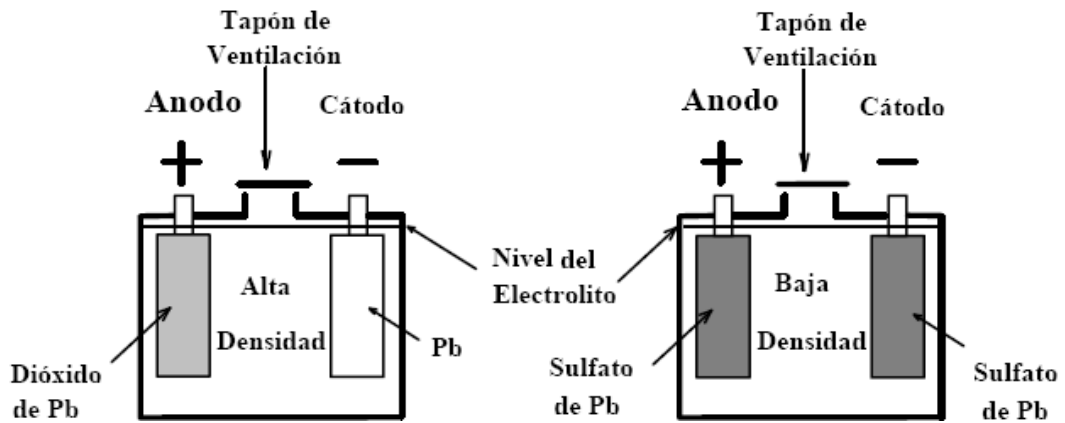


Figura 1.24 Batería Cargada

Figura 1.25 Batería Descargada

Si los dos electrodos se conectan uno a otro por medio de un circuito externo, los materiales activos de la placa reaccionarán con el electrolítico, produciendo la descarga de la batería.

1.4.3.1. Características Técnicas de las Baterías

Las características técnicas que definen una batería de acumulación son las siguientes: la tensión nominal, la cantidad de la energía que puede almacenar, la máxima corriente que puede entregar (descargar), la profundidad de descarga que puede sostener, etc.

a. Tensión nominal

El voltaje de la batería depende del número de acumuladores empleados y su acoplamiento. La tensión unitaria de cada acumulador varía por ejemplo: 2 voltios para un acumulador de plomo y 1,2 voltios para un acumulador de níquel-cadmio. Con esto se tienen acumuladores con tensiones normalizadas: 6, 12 o 24 voltios.

b. Capacidad Nominal (Ah)

Los Amperios hora de una batería son simplemente el número de Amperios que proporciona multiplicado por el número de horas durante las que circula esa corriente, y que se puede disponer de la batería cargada. Con esto se puede determinar, en una instalación fotovoltaica, el tiempo que puede funcionar el sistema sin radiación luminosa que recargue las baterías. Es se puede conocer los días de autonomía del sistema.

$$C_m = I_N \times N \quad (\text{Ec.1.6})$$

Donde:

C_m : Capacidad máxima de descarga

N : Tiempo de descarga en horas

I_N : Corriente de descarga en Amperes

Teóricamente, por ejemplo, una batería de 200 Amperios-Hora, puede suministrar 200 A durante una hora, 50 A durante 4 horas, ó 4 A durante 50 horas.

c. Capacidad de Energía Almacenada

La cantidad de energía que puede ser acumulada por una batería está dada por el número de Vatios hora (Wh) de la misma, la cual puede calcularse multiplicando el valor del voltaje nominal por el número de Amperios hora, es decir:

$$Wh = \text{Voltaje Nominal} \times Ah \quad (\text{Ec. 1.7})$$

d. Ciclo de una batería

Un ciclo es una descarga y carga de una batería a cualquier porcentaje de descarga, comparada con su capacidad; cuando ésta se encuentra llena.

Existen tres tipos de ciclos de descarga de las baterías, los ciclos pequeño, moderado y profundo.

El ciclo pequeño ocurre cuando solo un pequeño porcentaje del total de la capacidad de la batería es descargado.

Los ciclos moderado y profundo, se refieren a que las baterías son descargadas a un mayor porcentaje del total de su capacidad. Estos ciclos de carga/descarga, dependen de la corriente máxima extraída, de los límites inferior y superior de carga y la temperatura de trabajo de la misma respectivamente.

e. Profundidad de Descarga

La profundidad de descarga (PD) representa la cantidad de energía que puede extraerse de una batería por un cierto número de ciclos. Este valor viene dado por la relación de un valor en porcentaje con respecto a un cierto número de ciclos. Como ejemplo, se puede decir que una batería puede alcanzar una profundidad de descarga del 25%, 50% para un número de 2200 y 1000 ciclos respectivamente. Esto indica que una batería se ha descargado un 25% o 50% de su capacidad total y tiene una carga remanente del 75% y 50% respectivamente.

f. Efecto de la Temperatura

Las altas temperaturas, provocan mayor actividad química y se traduce en una reducción en la vida útil de una batería. En la Tabla 1.4 se presentan valores referenciales de temperaturas de trabajo de las baterías y su correspondiente valor en porcentaje de reducción de vida.

Temperatura del Electrolito °C	Reducción Vida Útil %
25	0
30	30
35	50
40	65
45	77
50	87
55	95

Tabla 1.4 Efecto de la Temperatura en la vida de las Baterías

1.4.3.2. Tipos de baterías

Existen muchos tipos de baterías, pero se mencionará una clasificación general de las disponibles en el mercado:

1. **Baterías de arranque.-** Son las baterías más comunes, baratas y disponibles en todos los lugares, su uso común es en automóviles y están cargadas casi siempre por completo.
2. **Baterías de tracción.-** Tienen mayor costo y son diseñadas para operar con ciclos de descarga profunda. Estas baterías, tienen una autodescarga relativamente grande y una eficiencia de carga baja.
3. **Baterías estacionarias.-** Son usadas en instalaciones grandes y cuestan de 3 a 6 veces más que las baterías de arranque comunes. Pueden ser gelificadas, selladas y aptas para ser colocadas en posición vertical u horizontal.
4. **Baterías Plomo- Acido.-** Estas baterías se componen de varias placas de plomo en una solución de ácido sulfúrico. La placa consiste en una rejilla de aleación de Plomo con una pasta de óxido de Plomo incrustada sobre la rejilla. La solución de ácido sulfúrico y agua se denomina electrolito.

En la Figura 1.26, se puede ver la configuración y las partes de una batería plomo-ácido.

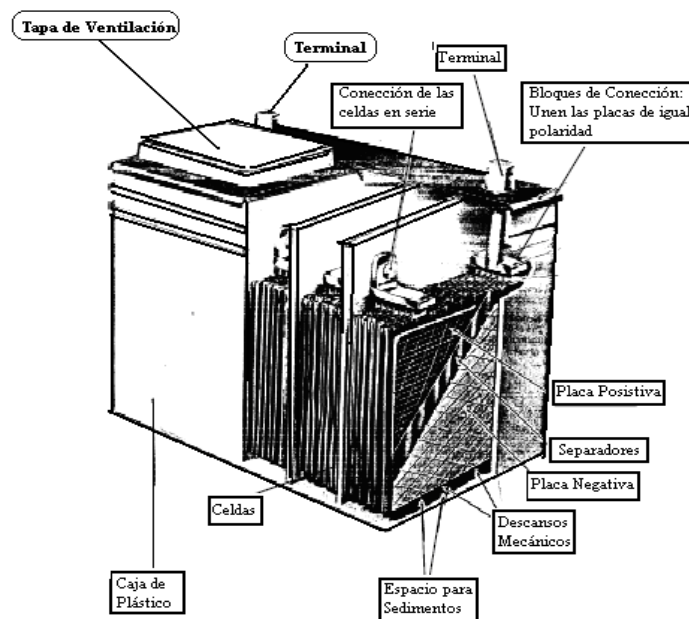


Figura 1.26 Composición de una batería Plomo-Acido

Debido a que el plomo es un metal blando, frecuentemente se agregan otros elementos, como antimonio o calcio, para reforzar las placas y cambiar las características de la batería.

En el mercado existen diferentes tipos de baterías de plomo-ácido optimizadas para ciertas condiciones de uso. Las principales baterías de plomo-ácido son:

- a. Las de tipo arranque mejorado.
- b. Las herméticas.
- c. Las de Cromo-Acido.
- d. Las de Niquel-Cadmio.
- e. Baterías Solares

De este tipo de baterías, las más usadas en sistemas fotovoltaicos, son las solares.

Baterías Solares.- Generalmente se trata de baterías que por su geometría y materiales usados, se tiene que realizar un análisis de costo, vida útil (numero de ciclos de carga/descarga) y que sea libre de mantenimiento. Los electrodos de una batería solar tienen una aleación de antimonio, permitiendo adherir una mayor cantidad de material activo que aumenta el peso y el costo de la batería. Por ejemplo una batería de 6V, con volumen similar a la de 12 V de automotor, pesa más de 30 Kg.

A continuación se presentan algunas características:

- Son baterías que permiten una mayor profundidad de descarga (PD) y un alto valor de Ciclos.
- Permite una PD máxima del 80%, a niveles de corriente moderados. Es por ello que estas baterías se las denominan de ciclo profundo.
- La batería más robusta proporciona un mayor número de ciclos.

En la Figura 1.27 se puede observar la composición interna de una batería Ni-Cadmio utilizada en sistemas fotovoltaicos.

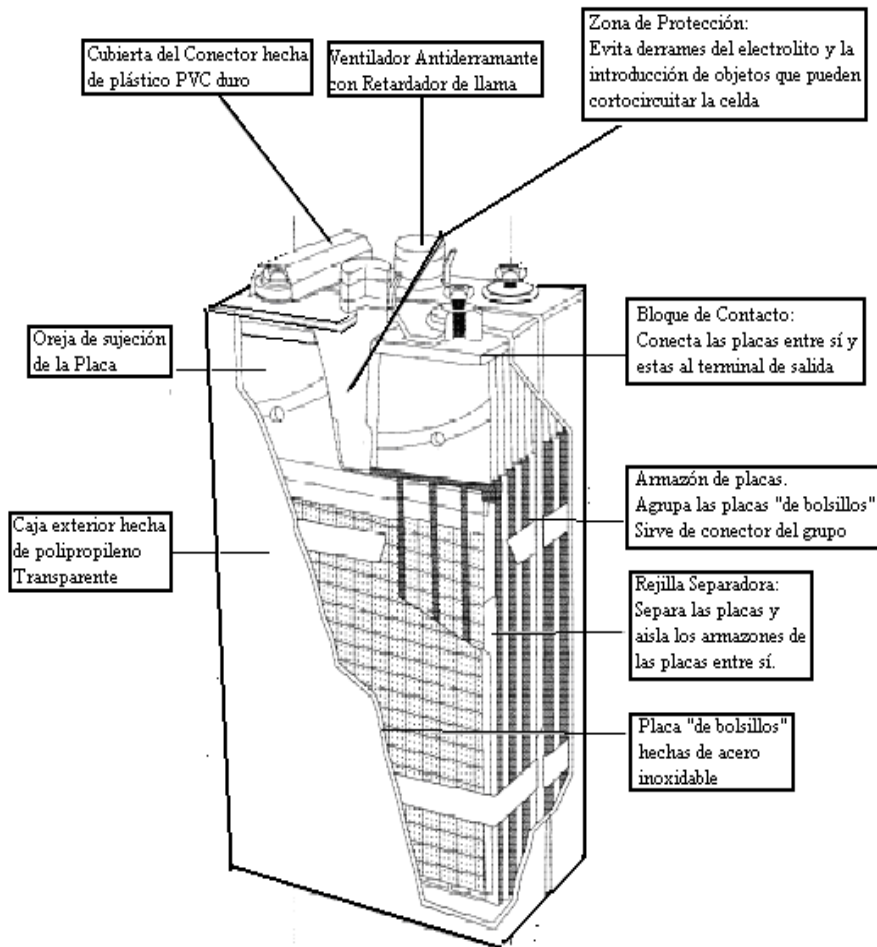


Figura 1.27 Composición de una batería Ni- Cadmio con placas de bolsillo

En la Tabla 1.5 se pueden ver los valores comparativos entre dos baterías Plomo-ácido de la misma constitución interna pero de diferente peso y capacidad de carga, en la que se tienen a un mismo porcentaje de descarga, un diferente número de ciclos de vida.

Batería 1		Batería 2	
217 Ah; 30 Kg		350 Ah; 65 Kg	
%PD	Nº de Ciclos	% PD	Nº de Ciclos
80	543	80	693
50	757	50	1068
30	1100	30	2050
20	1800	20	3050

Tabla 1.5 Valores en porcentajes de descarga con relación a los ciclos de vida

1.4.3. Regulador de Carga

Un regulador de carga tiene dos funciones principales como son:

- a. Prevenir que las baterías se sobrecarguen.
- b. Eliminar el flujo de corriente de las baterías a las fotoceldas.

Estas dos condiciones son nocivas para la correcta funcionalidad y duración de las baterías.

1.4.3.1. Prevenir que las baterías se sobrecarguen.

Para prevenir el exceso de voltaje en las baterías y circuitos de control, se utilizan reguladores de voltaje. Éstos, son un grupo de circuitos integrados lineales, que reciben una entrada de voltaje de corriente continua relativamente constante y suministra como salida un valor relativamente más bajo de voltaje C.C. (corriente continua) que el regulador mantiene fijo o regulado sobre un amplio rango de control para la corriente de carga y voltaje de filtrado.

El funcionamiento de la serie 78XX es por lo general el más adecuado para la mayor parte de los usos, se encuentran protegidos térmicamente y para sobrecarga. La única exigencia de esta serie es que el voltaje de entrada (Sin regular) deberá ser al menos 3V superior al de salida, de otra manera el circuito de regulador no puede hacer su trabajo correctamente. A continuación se presenta la Tabla 1.6 en la que se muestran todos los reguladores LM78XX, sus tensiones de salida y rangos de tensiones de entrada.

Designación	Tensión de Salida (V)	Rango de entrada (V)
LM7805	5	7 - 25
LM7806	6	8 - 25
LM7808	8	10.5 - 25
LM7809	9	11.5 - 25
LM7810	10	12.5 - 25
LM7812	12	14.5 - 30
LM7815	15	17.5 - 30
LM7818	18	21 - 33
LM7824	24	27 - 38

Tabla 1.6 Valores de tensión de los Reguladores de Voltaje Encapsulados

En la Figura 1.28 se muestra el conexionado básico de los Reguladores de Voltaje

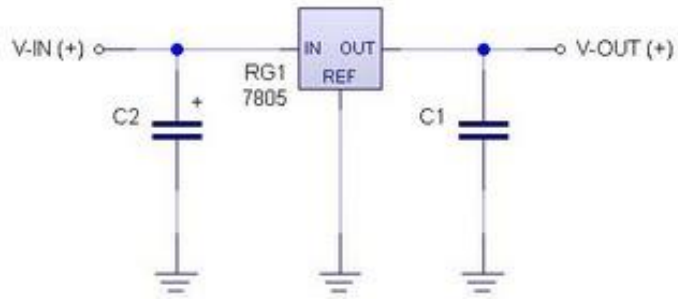


Figura 1.28 Ejemplo de Conexión del Regulador de Voltaje LM7805

Los capacitores C1 y C2, son conectados a masa (de valores entre 10uF y 47uF) son requeridos en la entrada (V-IN) y la salida (V-OUT).

Estos reguladores pueden venir en varios tipos de encapsulados, como se puede observar en la Figura 1.29. Para corrientes de salida hasta de 1A, existen dos tipos de encapsulados: TO-220 (vertical) y D-PAK (horizontal).

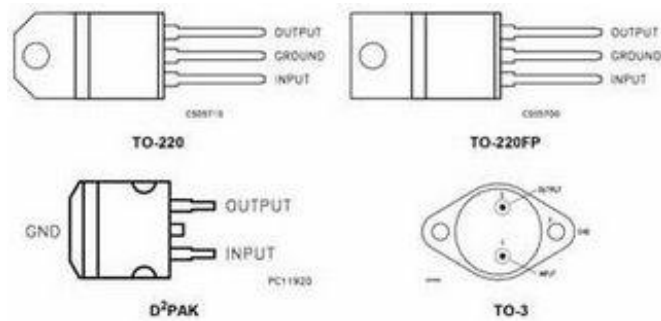


Figura 1.29 Tipos de encapsulados de reguladores 78XX.

La protección de los Reguladores es muy necesario ya que éstos se descargan cuando la fuente se apaga. Para esto se conectan a diodos de protección entre sus terminales, denominado Bias Protection, como se indica a continuación (Figura 1.30).

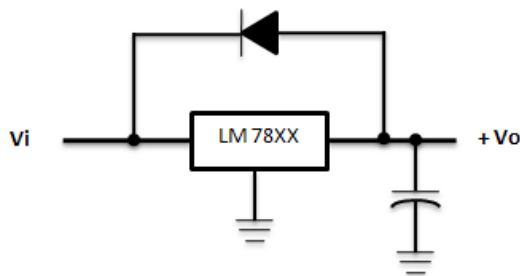


Figura 1.30 Circuito de protección de regulador de voltaje con diodo inverso

En caso de que se desee montar una fuente de voltaje de salida superior al voltaje de salida del regulador, basta colocar un elemento que provoque una caída de tensión en el terminal que se conecta a tierra del regulador, de esta forma, la salida del regulador será la suma del voltaje salida del regulador más el voltaje de caída del componente. En la Figura 1.31 se muestra la utilización de un diodo zener para generar una caída de tensión controlada.

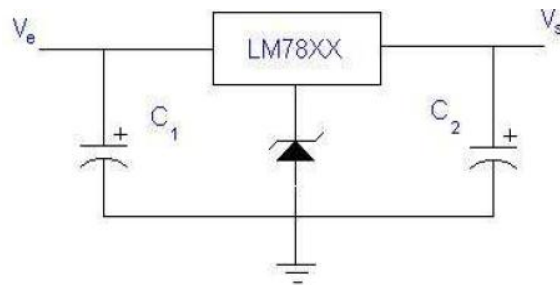


Figura 1.31 Utilización de un diodo zener para elevar el voltaje de salida regulado.

Este mismo razonamiento se aplica con diodos rectificadores comunes, según se muestra en la Figura 1.32, donde el voltaje de salida se incrementa en 2,1 voltios por la caída de 0,7 voltios en cada uno de los diodos conectados.

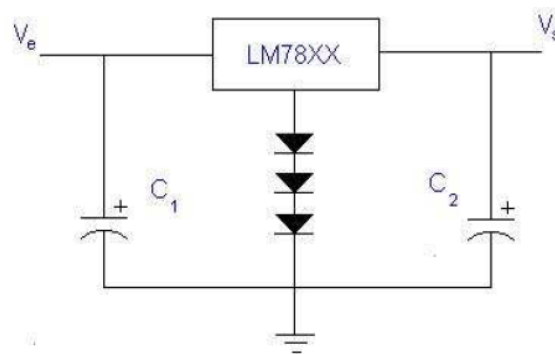


Figura 1.32 Conexión de diodos para elevar el voltaje de salida del regulador

1.4.3.2. Eliminar el flujo de corriente de las baterías a las fotoceldas.

Para eliminar el retorno de corriente hacia los paneles fotovoltaicos; es necesario utilizar diodos de protección. Los diodos son elementos electrónicos que permiten el flujo de corriente en una sola dirección.

En el caso de conectarse solo un panel con la batería se debe conectar el diodo como se indica en la Figura 1.33.

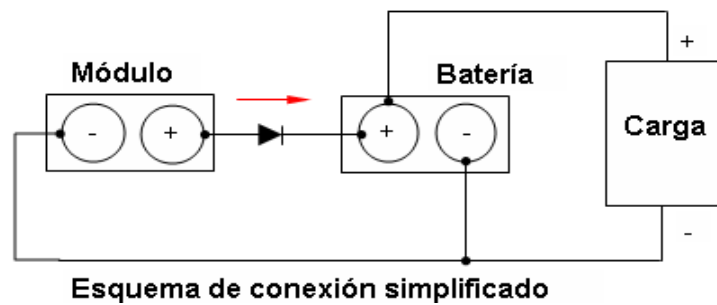


Figura 1.33 Esquema de Conexión de Diodo en una sola dirección

En los sistemas fotovoltaicos generalmente se utilizan de dos formas: como diodos de bloqueo y como diodos de bypass, como se observa en la Figura 1.34.

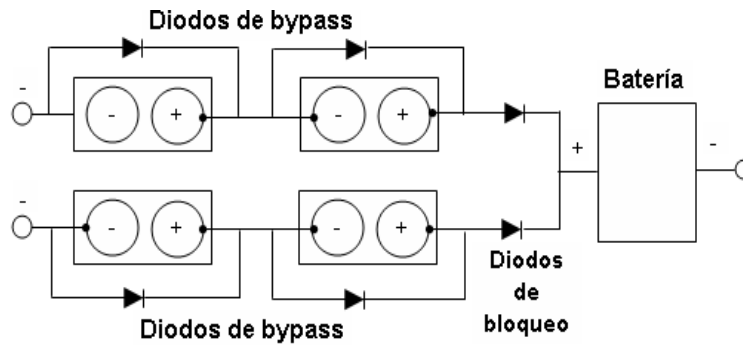


Figura 1.34 Esquema de Conexión de Diodos de bypass y de bloqueo

Los diodos de bypass protegen individualmente a cada panel de posibles daños ocasionados por sombras parciales, éstos deben ser utilizados en disposiciones en las que los módulos están conectados en serie. Generalmente no son necesarios en sistemas que funcionan a 24 V o menos.

Los diodos de bloqueo impiden que la batería se descargue a través de los paneles fotovoltaicos en ausencia de luz solar. Evitan también que el flujo de corriente se invierta entre bloques de paneles conectados en paralelo, cuando en uno o más de ellos se produce una sombra.

El diodo debe ser calculado tomando en consideración la máxima corriente que generará el arreglo fotovoltaico en condiciones de corto circuito. La norma internacional dice que el

valor de la corriente que debe soportar el diodo, debe ser por lo menos 1.56 veces el valor de la corriente del arreglo fotovoltaico.

1.4.4. Inversor

La función de un inversor es cambiar un voltaje de entrada de corriente directa a un voltaje simétrico de salida de corriente alterna, con la magnitud y frecuencia deseada por el usuario o el diseñador. Los inversores se utilizan en una gran variedad de aplicaciones, desde pequeñas fuentes de alimentación para computadoras, hasta aplicaciones industriales para manejar alta potencia. Los inversores también se utilizan para convertir la corriente continua generada por los paneles solares fotovoltaicos, acumuladores o baterías, etc., en corriente alterna y de esta manera poder ser inyectados en la red eléctrica o usados en instalaciones eléctricas aisladas.

Un inversor simple consta de un oscilador que controla a un transistor, el cual se utiliza para interrumpir la corriente entrante y generar una onda cuadrada.

La Figura 1.35 muestra la configuración del convertidor cc/ca puente completo. Este convertidor consta de dos ramas de transistores, la tensión máxima que se puede obtener la salida del convertidor es V_i . Para generar una tensión positiva en V_{ab} (alternancia positiva), es necesario activar S_A y S_D . Para generar voltaje negativo en V_{ab} (alternancia negativa), es necesario activar S_B y S_C .

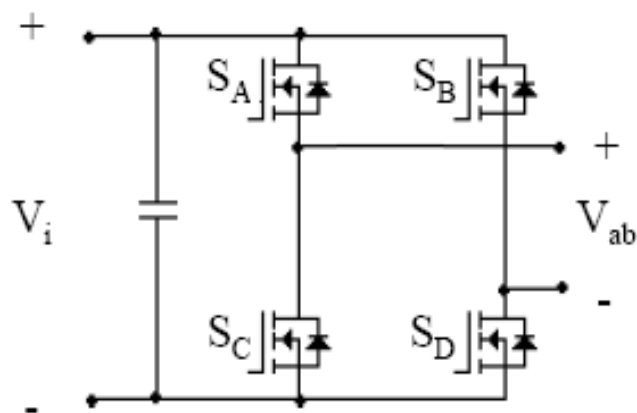


Figura 1.35 Conversor DC/AC con puente diodos completo

La obtención de un ciclo completo de corriente alterna de 60Hz correspondiente a un periodo de 16,66 milisegundos (ms), se puede conseguir mediante un circuito de control que active S_A y S_D por 8,33 ms, los apague y luego active S_B y S_C por otros 8,33ms, la señal resultante será una onda cuadrada con un voltaje pico V_i , como se observa en las en las Figuras 1.36 y 1.37 respectivamente.

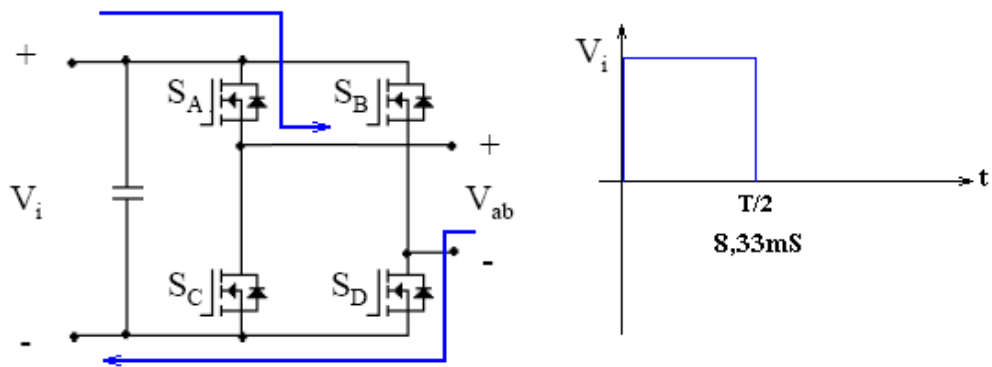


Figura 1.36. Generación del Semiciclo Positivo

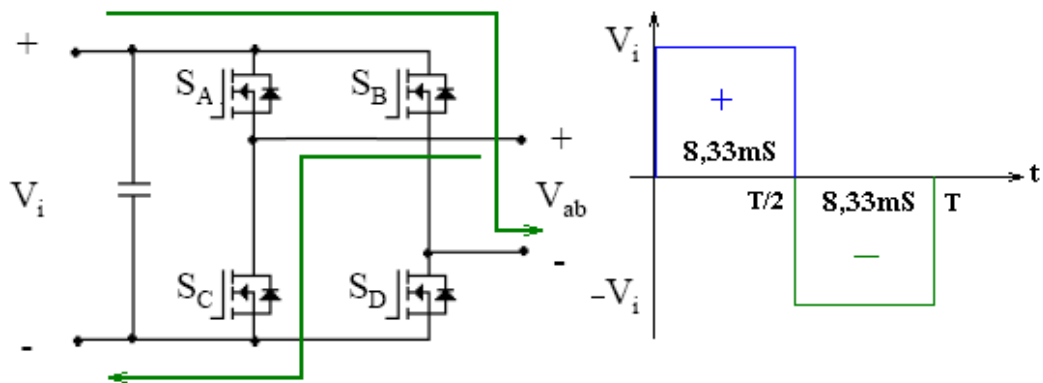


Figura 1.37. Generación del Semiciclo Negativo

1.4.5. Energía producida por un Sistema Fotovoltaico

La cantidad de energía eléctrica producida de un sistema fotovoltaico depende básicamente de la eficiencia de los módulos, de la irradiación solar, los ciclos de las estaciones y la variación de las condiciones meteorológicas. Se calcula aproximadamente que un metro cuadrado de módulos fotovoltaicos de buena calidad, pueden producir de media 180 KWh al año (0,35 KWh al día en periodo invernal y 0,65 KWh. al día en periodo de verano ^[31].

^[31] http://www.acapomil.cl/investigacion/boletines/boletin_2004/articulos/solar.htm

1.4.6. Mantenimiento de un Sistema Fotovoltaico

- El generador fotovoltaico generalmente no requiere mantenimiento, excepto una limpieza periódica con un paño mojado de la superficie anterior de los módulos. Esta limpieza sirve para devolver la transparencia original al cristal que puede haberse reducido por culpa de capas de polvo.
- El regulador de carga no requiere ningún mantenimiento.
- Si la batería de acumulación es del tipo de Plomo-ácido no sellada, debe controlarse el nivel del líquido una vez al año. Hace falta también mantener una buena limpieza de los contactos entre los bornes y los terminales de los cables de conexión, y colocarlas en lugares sombreados y ventilados.
- Debe controlarse periódicamente que los cables de conexión entre el generador fotovoltaico, la batería y el regulador estén en perfecto estado.

1.5. ELEMENTOS, ESTRUCTURA Y FUNCIONAMIENTO DE UN SEGUIDOR DE LUZ SOLAR.

1.5.1. Introducción

Un panel solar genera electricidad incluso en ausencia de luz solar directa. Por ende, un sistema solar generará energía aun con cielo nublado. Sin embargo, las condiciones óptimas de operación implican: la presencia de luz solar plena y un panel orientado lo mejor posible hacia el sol, con el fin de aprovechar al máximo la luz solar directa.

Por lo tanto, en la práctica, los paneles solares deberán ser colocados en ángulo con respecto al plano horizontal. Se recomienda que para lugares ubicados en el Hemisferio Norte, el panel deberá orientarse hacia el sur y en el Hemisferio Sur, hacia el norte.

1.5.2. Energía Solar Fotovoltaica con paneles estáticos

Está constituido por paneles y soportes fijos, su orientación e inclinación está determinada por la latitud, la misma que depende de la zona, el lugar, la estación, etc. El rendimiento depende exclusivamente de una orientación óptima de los módulos y de la radiación solar

que recibe la localidad en la que se instale. Se coloca en un solo ángulo de inclinación con respecto a la horizontal, como ya se había mencionado anteriormente en el párrafo 1.2. Son colocados en todo tipo de tejados, cubiertas industriales, casas de campo, edificios, etc. Su ventaja principal es que son más económicos. En la Figura 1.38 se pueden ver dos paneles dispuestos sobre el techo y en un soporte fijo respectivamente.



Panel empotrado en el techo



Panel sobre soporte fijo

Figura 1.38 Paneles Fotovoltaicos Fijos

Esta restricción no siempre constituye un problema, ya que el régimen de carga puede, en muchas circunstancias, ser satisfecho con la selección de un ángulo de inclinación fijo. Algunos modelos han sido diseñados para ser anclados directamente al suelo, al techo de una casa, y otros permiten su montaje a un poste de sostén. Los soportes con anclaje a una superficie pueden acomodar hasta 14 paneles satisfaciendo las necesidades de consumo para una amplia gama de sistemas. En la Figura 1.39 se puede ver un soporte para fijación de paneles con regulación de ángulo.

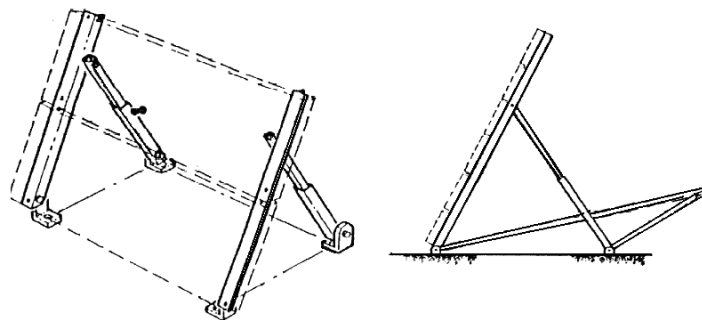


Figura 1.39 Soportes para módulos Fotovoltaicos con regulación de ángulo

En la Figura 1.40 se observa otro tipo de fijación de paneles, conocido como el de tipo postes de sostén, aplicados y utilizados en sistemas de menor consumo como: teléfonos, luz de emergencia, el mismo que tiene ajuste de ángulo fijo con respecto a la radiación solar.

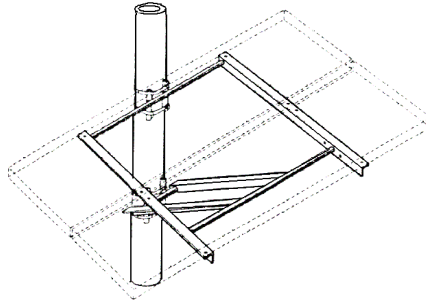


Figura 1.40 Soporte tipo poste de sostén ajustable

1.5.3. Energía Solar Fotovoltaica con Seguimiento Automático

Por lo general, los paneles solares son colocados sobre un techo o una estructura y tienen una posición fija; la máxima energía se obtiene cuando los rayos solares llegan perpendiculares a la superficie del captador. En el caso de arreglos fotovoltaicos la perpendicularidad entre las superficies de los módulos y los rayos solares solo se pueden conseguir si las estructuras de montaje del arreglo se mueven siguiendo al Sol.

Los mecanismos de seguimiento se utilizan para mantener los paneles fotovoltaicos directamente frente al sol, de modo que aumenten la potencia de salida de los paneles aprovechando un mayor grado de luminosidad. En la Figura 1.41, la línea punteada determina la mejor captación de energía con seguimiento solar a lo largo del día, comparado con la captación con posición estacionaria.

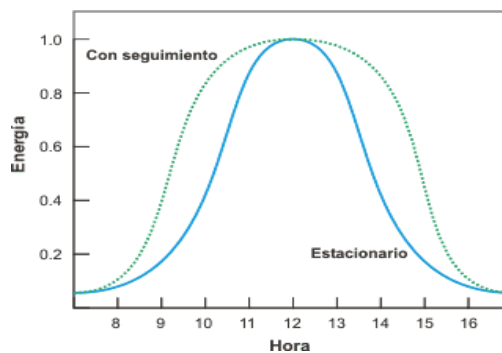


Figura 1.41 Curva de Captación Solar Módulo Fijo Vs. Módulo con Seguimiento

De esta forma, el rendimiento de la instalación puede aumentar aproximadamente hasta un 30 % en comparación con una instalación fotovoltaica fija ^[32].

^[32] <http://www.modulosolares.com/modulos>

1.5.4. Objetivos de los Seguidores

- Con estos sistemas, se consigue que los paneles fotovoltaicos tengan la máxima captación de energía durante todo el día, y según cambia la posición del sol en las estaciones.
- Se consiguen rendimientos de un 20 a 40% en comparación con los fijos.
- Un sistema Fotovoltaico con seguidor solar, ocupa menos espacio que un sistema Fotovoltaico fijo dimensionado para la misma potencia instalada.
- Se consigue que los paneles fotovoltaicos tengan la máxima captación de energía durante todo el día, alargando de esta manera la vida de las baterías.
- Con un sistema de seguimiento automático de dos ejes, los módulos solares consiguen siempre la posición ideal respecto del sol.
- Los elementos mecánicos son fácil de reponer y económicos.
- Son sistemas de bajo coste, nulo mantenimiento y sencilla operación.

1.5.4.2. Tipos de Seguidores

Para que el arreglo fotovoltaico siga al sol se necesita de estructuras de montaje que estén diseñadas para tal propósito. Dependiendo del grado de libertad del movimiento, se conocen dos tipos de seguidor, de uno y de dos ejes. Estos soportes pueden tener sistemas eléctricos motorizados o con funcionamiento por gravedad.

1.5.4.3. Seguidor de un Eje

Este seguidor solamente se mueve en una dirección, y se subdivide en: movimiento de un eje polar, de un eje horizontal, y el de movimiento azimutal (este-oeste).

- **En un eje polar.-** La superficie gira sobre un eje orientado al Sur e inclinado un ángulo igual a la latitud. El giro se ajusta para que la normal a la superficie coincida en todo momento con el meridiano terrestre que contiene al Sol. La velocidad de giro es de 15° por hora, como la del reloj.

- **En un eje horizontal.-** La superficie gira sobre un eje horizontal y orientado en dirección norte-sur. El giro se ajusta para que la normal a la superficie coincida en todo momento con el meridiano terrestre que contiene al sol.
- **En un eje azimutal.-** La superficie gira sobre un eje vertical. El ángulo de inclinación de la superficie es constante e igual a la latitud. El giro se ajusta para que la normal a la superficie coincida en todo momento con el meridiano local que contiene al sol (giro de este a oeste). La velocidad de giro es variable a lo largo del día. En algunos casos los seguidores azimutales, dependiendo de la latitud del lugar, situación geográfica, valores de radiación solar, etc., pueden incrementar la insolación promedio anual en un 15-25%, con respecto al sistema estático si son automatizados por un motor.
- **Seguidor en un eje Azimutal por mecanismo.-** En la Figura 1.42 se puede observar la conformación del mecanismo que provoca el movimiento azimutal del soporte en un eje mecánico.

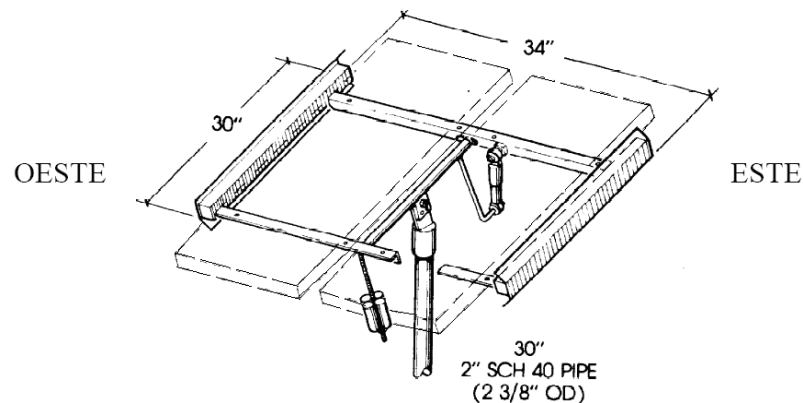


Figura 1.42 Seguidor en un eje Azimutal por mecanismo de gas

Funcionamiento.- El soporte tiene dos tanques interconectados, los que están ubicados a lo largo de los lados este y oeste, respectivamente. Se asume que al amanecer el soporte está inclinado hacia el este. Debido a la posición, la luz solar llega al tanque del lado este, evaporando el gas que contiene, en este caso es freón; los gases se desplazan hacia el tanque del lado opuesto, en éste la temperatura es menor, logrando que el gas se licue; aumentando el peso en el lado.

Este diseño tiene algunas restricciones que son inherentes. Los paneles quedan ubicados al final del día al lado oeste, tomando algún tiempo en retornar a su posición inicial. Dependiendo de la estación del año y el tipo de aplicación del sistema, se debe reorientarlo. En climas muy fríos, el calor generado puede ser insuficiente para evaporar el freón.

1.5.4.4. Seguidor de Dos Ejes

Con el propósito de obtener el mayor rendimiento y la mejor captación solar, se tienen que combinar los dos movimientos importantes como son: el movimiento azimutal (este-oeste) y el ángulo de elevación que sigue el movimiento anual de la trayectoria solar en la dirección norte-sur, en la Figura 1.43 se puede observar un seguidor en 2 ejes.

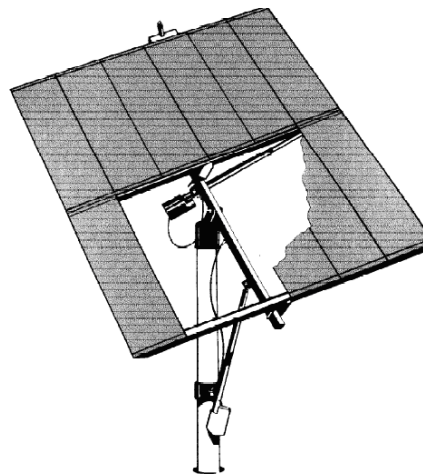


Figura 1.43 Soporte con Seguidor en 2 Ejes

Con esto se logra el seguimiento de la inclinación estacional durante todo el año, logrando aumentar el rendimiento de un 30 a 40% si se combinan los dos tipos de seguimiento.

1.5.5. Elementos del Seguidor Solar a construir

Los elementos más importantes que intervienen en la construcción, montaje y control del seguidor solar propuesto como tema de estudio, son los siguientes:

- Panel solar
- Sensores

- Actuador (Motor)
- Sistema de Transmisión de Movimiento
- Controlador (Microcontrolador PIC)

1.5.5.1. Panel Solar

Se utilizará un panel solar que brinde el voltaje y potencia necesarios para cubrir con la demanda de las cargas que van a intervenir en el funcionamiento del sistema. Este panel debe tener una base, en la que se pueda realizar el acople con el sistema de movimiento; que no es más que un eje acoplado a un sistema de transmisión de engranajes movidos por un servomotor. El servomotor recibirá el mando del microcontrolador PIC; que a su vez necesita la señal de los sensores, que son los elementos que disponen el posicionamiento del panel. Los sensores responden a la intensidad solar, actuando sobre el PIC que controla los movimientos de los mecanismos que generan la posición del motor en seguimiento azimut. Cuando el sol se oculta, la ausencia simultánea de luz en los sensores provee una señal de reorientación para el sistema, forzando al desplazamiento del soporte hacia el este.

1.5.5.2. Sensores

Conocidos también como transductores, los sensores son dispositivos que convierte el valor de una magnitud física (presión, flujo, temperatura, etc.) en una señal eléctrica sea ésta tensión, corriente o frecuencia. Los sensores analógicos, envían, por lo regular, señales normalizadas de 0 a 5 voltios, 0 a 10 voltios o 4 a 20 mA.

Hay dos conceptos importantes a entender cuando se analiza cualquier sensor, estos son la sensibilidad y el alcance.

- La sensibilidad** es la relación del cambio de la señal de salida o respuesta del instrumento respecto al cambio de la señal de entrada, después de haberse alcanzado el estado de reposo.
- El alcance** es la diferencia algebraica entre los valores superior e inferior del campo de medida de un instrumento. Por ejemplo, considerando un termómetro cuyos valores son 100° C y 300° C como extremos, su alcance es de 200° C.

1.5.5.3. Tipos de Sensores

Se los puede clasificar de acuerdo a su aplicación, método de conversión de energía, naturaleza de la señal de salida, etc. Una distinción y clasificación estricta de los tipos de sensores es difícil. Sin embargo de acuerdo al **principio eléctrico** los sensores son de dos tipos: pasivos y activos.

1. **Sensores pasivos.-** Son aquellos que cambian sus características en un elemento pasivo, tal como: resistencia, inductancia, reluctancia o capacitancia. Otra característica importante de este tipo de sensores, es que **requieren** de una fuente de polarización o excitación. Son sensores pasivos: las fotorresistencias, el termistor, el LVDT, etc. ^[33].
2. **Sensores Activos.-** Denominados también de autogeneración, éstos generan una señal eléctrica corriente o voltaje, como resultado de una forma de energía o son estimulados por una variable dinámica y **no requieren** de una fuente de excitación. Son sensores activos: el termopar, el tacogenerador, el transductor piezoeléctrico ^[34].

Entre los diferentes sensores que se pueden encontrar en el mercado, se pueden destacar los siguientes:

- Sensores de luz: fotoceldas, fotorresistencias, fototransistores, fotodiodos.
- Sensores de fuerza: micro-interruptores, acelerómetros, sensores de curvatura.
- Sensores de sonido: micrófonos, sensores de películas piezoeléctricas, sonar.
- Sensores de posición y orientación: encoder, giroscopios, sensores de inclinación, acelerómetros, brújulas.
- Sensores de proximidad: infrarrojos, sonar, láser.
- Sensores de contacto: bumpers, materiales que cambian la resistencia o capacitancia al acercarse a un obstáculo, sensores de curvatura, medidores de corriente.
- Sensores internos: encoders, brújulas, giroscopios, acelerómetros, GPS, medidores de energía, medidores de corriente, medidores de temperatura.

^[33] ^[34] Rodríguez Rivera José Ma. Instrumentación Industrial. Escuela Politécnica del Ejército. Electrónica e Instrumentación. 1999. Cap. II.

Los dispositivos que se utilizarán en el presente proyecto, son los sensores de luz.

1.5.5.3.1. Sensor de luz

Mide la cantidad de luz que recibe y convierte esta señal de entrada en un cambio de resistencia de un material semiconductor. Debido al cambio de iluminación incidente sobre el mismo, éstos cubren un amplio espectro de luz visible y de infrarrojos; la electrónica incorporada permite la selección automática del color de la luz transmitida. Entre los principales elementos se dispone:

- a. Fotorresistencias
- b. Fotodiodos
- c. Fototransistores, etc.

a. Fotorresistencias (LDR).- Una fotorresistencia se compone de un material semiconductor cuya resistencia varía en función y presencia de rayos luminosos, siempre que la luz incidente tenga la suficiente frecuencia, o en otras palabras, la suficiente energía. Es por ello que también se le llama resistencias dependientes de luz (*light dependent resistors*), fotoconductores o celdas fotoconductoras.

Cuando incide la luz en el material fotoconductor, y tratándose de un semiconductor se generan pares electrón – hueco. Al haber un mayor número de portadores, el valor de la resistencia disminuye, dado que el electrón libre (y el hueco asociado) se genera en la banda de conducción. Es decir cuanto más sea la intensidad de luz que incida en la superficie de la LDR menor será su resistencia y viceversa.

b. Fotodiodos.- Los fotodiodos son diodos de unión PN cuyas características eléctricas dependen de la cantidad de luz que incide sobre la unión, lo cual da como resultado una transferencia de energía de las ondas luminosas incidentes (en forma de fotones).

El efecto fundamental es que tiene una mayor incidencia en los portadores minoritarios, que son los responsables de que el diodo conduzca ligeramente en forma inversa. Se puede considerar que la corriente inversa es cero cuando no hay luz incidente. Los fotodiodos generan una pequeña corriente proporcional al nivel de iluminación.

Algunas de las aplicaciones típicas son: En la Industria, sensores de posición, lector de códigos de barras, impresoras láser. En comunicaciones, receptores de fibra óptica. En medicina, detección de rayos X, analizador de partículas en la sangre. En óptica, auto-foco, control de flash.

c. Fototransistor.- Se trata de un elemento constituido por un transistor bipolar de composición tipo p-n sensible a la luz. La radiación luminosa se hace incidir sobre la unión, de colector a base fotosensible.

En esta unión se generan los pares electrón - hueco, que provocan la corriente eléctrica.

Un incremento en la intensidad luminosa, aumenta la corriente de colector. Opera, generalmente sin terminal de base ($I_b=0$), aunque en algunos casos hay fototransistores que tienen disponible un terminal de base para trabajar como un transistor normal.

La sensibilidad de un fototransistor es superior a la de un fotodiodo, ya que la pequeña corriente fotogenerada es multiplicada por la ganancia del transistor.

1.5.5.4. Motor

Se denomina así a la máquina eléctrica capaz de transformar la energía eléctrica que recibe, en energía mecánica. Básicamente consiste en un circuito magnético, uno o más circuitos eléctricos y soportes mecánicos.

Todo motor eléctrico consta de dos partes, una fija denominada estator, y otra móvil respecto a esta última denominada rotor. Dentro de la misma, existen dos tipos de devanados: el inductor, que origina el campo magnético para inducir las tensiones correspondientes en el segundo devanado, que se denomina inducido, pues en él aparecen las corrientes eléctricas que producen el par de funcionamiento. Tanto el estator como el rotor están hechos de material ferromagnético, y disponen de una serie de ranuras en las que se alojan los hilos conductores de cobre que forman el devanado eléctrico.

1.5.5.4.1. Tipos de Motores

Existen muchos motores que pueden ser utilizados dentro de los procesos industriales, la robótica, mecatrónica, etc. Entre los principales se pueden enumerar: motores de corriente continua (DC), motores de corriente alterna (AC), motores paso a paso, servomotores, hidráulicos y los neumáticos. Dependiendo del trabajo efectuarse, y en este caso tratándose de automatismos para producir movimiento controlado, los motores más utilizados son: los motores paso a paso, y los servomotores. Pero hay que tomar muy en cuenta algunas características y factores importantes como son: la velocidad, el par de arranque, el frenado, la inercia y el modo de control.

Es necesario considerar los siguientes factores:

- Si no se necesita mucha potencia y posicionamiento, se emplean motores paso a paso.
- Si se necesita posicionamiento con un mayor torque se debe utilizar servomotores.
- Si se requieren grandes potencias, se emplean generalmente motores de corriente continua (por su facilidad de regulación) o también pueden utilizarse motores de corriente alterna.

En el presente proyecto se utilizarán servomotores.

d. Servomotor

Un Servomotor es un tipo especial de motor que se caracteriza por su capacidad de control en la velocidad y sus posiciones angulares específicas de forma inmediata, dentro de un rango de operación.

En la Figura 1.44, se puede ver la constitución de todas las partes de un servomotor, la cual está conformado por un dispositivo en forma de caja negra, tiene tres cables, un motor pequeño, una juego de engranajes que efectúa la variación de velocidad, un potenciómetro de un valor aproximado de 5K y un pequeño circuito integrado, que gobierna el sistema. En el lado derecho se observa un servomotor real desmontado completamente.

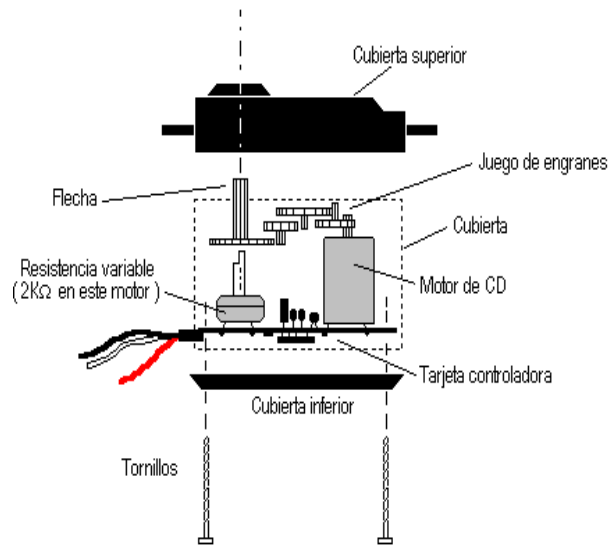


Figura 1.44 Constitución de un Servomotor

Funcionamiento.- Se envía una señal de pulsos modulados en amplitud y duración, los mismos que son convertidos en un movimiento mecánico que ayudan a que se mueva el eje del motor. La posición deseada o magnitud del giro se determina por medio de la duración del pulso que es proporcional a la anchura del pulso que llega por la línea de control. La anchura de estos pulsos varía en función del servomotor usado. El intervalo de tiempo con los que opera el servomotor está dado entre 10 y 30 milisegundos. Esta técnica se conoce como modulación por anchura de pulso PWM.

Para controlar un servomotor, basta con aplicar un pulso de duración y frecuencia específicas. Así, el tren de pulsos hará que el circuito de control interno ponga el servomotor en la posición indicada por la anchura del pulso. Para esto es necesario realizar la circuitería necesaria. El positivo se conecta a + 5 y el de señal de control a una fuente de pulsos variables entre 1 y 2 milisegundos de duración que se repiten con una frecuencia de unos 12-20ms.

El motor del servo tiene un circuito de control y un potenciómetro (una resistencia variable) que está conectado al eje central del servo que le permite supervisar el ángulo actual del servo motor.

Identificación de cables.- Los servomotores tienen 3 terminales de conexión: dos para la alimentación eléctrica del circuito, y uno para la entrada de la señal de control. El voltaje de alimentación generalmente es de alrededor de 6 voltios, pues aunque el motor soporta mayores voltajes de trabajo, el circuito de control no lo hace.

El color del cable de cada terminal varía con cada fabricante, aunque el cable del terminal positivo de alimentación siempre es rojo. El cable del terminal de alimentación negativo puede ser marrón o negro, y el del terminal de entrada de señal suele ser de color blanco, naranja o amarillo, como se observa en la Figura 1.45.

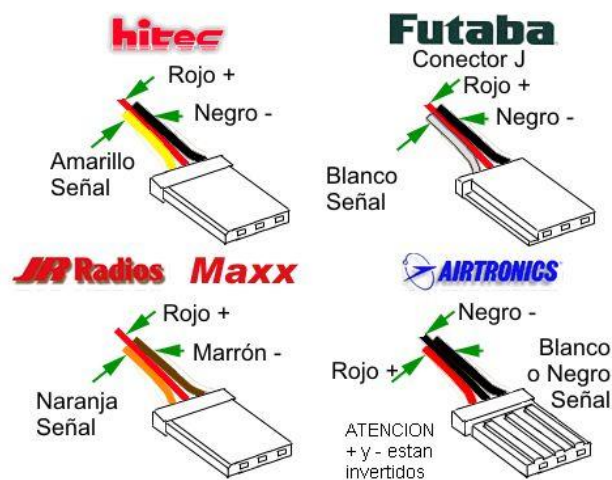


Figura 1.45. Colores de los terminales para algunas marcas comerciales

1.5.6. Sistema de transmisión de Movimiento

Dentro de las transmisiones de movimiento, se tienen: transmisión por bandas, por engranajes, por tornillo y rueda sinfín.

Al tratarse este tema, es muy importante tomar muy en cuenta aspectos como: Precisión en el avance, Transmisión de potencia, disminución de ruido, Resistencia al desgaste, Velocidad, espacio y rendimiento. Todas estas condiciones las reúnen la transmisión de movimiento con engranajes y transmisión por tornillo y rueda sinfín. Para este caso se utilizará la transmisión con engranajes.

Relación de transmisión “i”.- Es el cociente (Figura 1.46) entre la velocidad angular w_2 del eje de salida (conducido) y la velocidad angular w_1 del eje conductor (entrada): $i = w_2/w_1$.

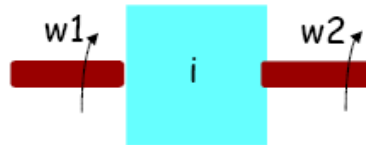


Figura 1.46 Detalle de Relación de transmisión por engranajes simple

Cuando el valor de “i” es menor a 1, la Relación de transmisión es Reductora, pero el torque aumenta en el valor de la Relación de Transmisión.

Si “i” es mayor a 1, la Relación de transmisión es Multiplicadora, de igual manera el torque se reduce en el valor de la Relación de la transmisión.

Los piñones de dientes rectos, pueden ser fabricados en diferentes tipos de materiales como el acero al carbón, bronce, aluminio, hierro, duralón, plástico, etc.

En la Figura 1.47 se presenta un esquema del conjunto de 2 piñones

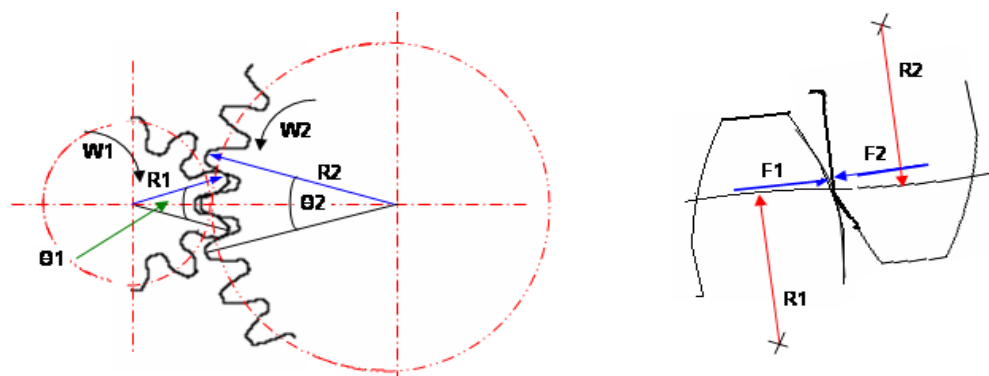


Figura 1.47 Engranaje de dos piñones

Donde:

$W_{1, 2}$ = Velocidad angular, rueda conductora y rueda conducida respectivamente

$\theta_{1, 2}$ = Desplazamiento angular

$R_{1, 2}$ = Radios de las ruedas expresado en mm.

$F_{1, 2}$ = Fuerzas Iguales ejercidas en el acople de los dientes

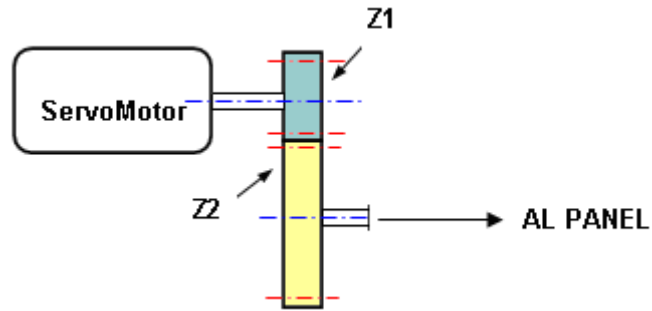


Figura 1.48 Esquema de Transmisión por Engranajes

Longitud de arco o desplazamiento lineal en los piñones

$$L_1 = R1 \times \theta_1 \quad (\text{Ec.1.8})$$

$$L_2 = R2 \times \theta_2 \quad (\text{Ec.1.9})$$

Como $L1=L2$ se tiene:

$$R1 \times \theta_1 = R2 \times \theta_2$$

$$\frac{\theta_1}{\theta_2} = \frac{R2}{R1}$$

Como desplazamiento angular $\theta = \omega.t$ (Ec.1.10)

$$\frac{R_2}{R_1} = \frac{\omega_1.t}{\omega_2.t}$$

$$\frac{R_2}{R_1} = \frac{\omega_1}{\omega_2} \quad (\text{Ec.1.11})$$

Torque en los piñones

$$T_1 = F1 \times R1 \quad (\text{Ec.1.12})$$

$$T_2 = F2 \times R2 \quad (\text{Ec.1.13})$$

Dividiendo (Ec.1.13) para (Ec.1.12)

$$\frac{T_2}{T_1} = \frac{F2 \times R2}{F1 \times R1}$$

Como: $F1 = F2$

$$\Rightarrow \frac{T_2}{T_1} = \frac{R2}{R1} \quad (\text{Ec.1.14})$$

Se tiene el Radio R, y se puede dejar en función del Diámetro Dp.

Diámetro Primitivo (D_p).- Es la circunferencia sobre la que hacen contacto los dientes cuando engranan unos con otros; y donde se ejercen las fuerzas. Al relacionarlo con el número de dientes (Z) y el módulo (M) se tiene que:

$$D_p = M \times Z \quad (\text{Ec.1.15})$$

Módulo (M).- Regula el tamaño del diente en función del esfuerzo que va a transmitir.

Su cálculo es:

$$D_p = M \times Z$$

$$D_1 = M \times Z_1 \quad (\text{Ec.1.16})$$

$$D_2 = M \times Z_2 \quad (\text{Ec.1.17})$$

Dividiendo (Ec.1.17) para (Ec.1.16)

$$\frac{D_2}{D_1} = \frac{Z_2}{Z_1} \quad (\text{Ec.1.18})$$

Relacionado las ecuaciones (1.11) (1.14) y (1.18) se tiene:

$$\frac{T_2}{T_1} = \frac{D_2}{D_1} = \frac{\theta_1}{\theta_2} = \frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{Z_2}{Z_1}$$

Con la relación anterior, se puede encontrar las ruedas dentadas que sirven para la transmisión de movimientos necesarios para el sistema.

1.5.7. Microcontroladores

Antes de ingresar a conocer los microcontroladores, se debe mencionar que todo empezó con el estudio de algunos dispositivos como fueron los controladores, éstos servían para regular el funcionamiento de uno o varios procesos.

Por ejemplo, el controlador que regula el funcionamiento de un horno dispone de un sensor que mide constantemente su temperatura interna, y genera las señales adecuadas que accionan los elementos que intentan llevar el valor de la temperatura dentro del rango necesario. Posteriormente se emplearon los microprocesadores, que se rodeaban con chips

de memoria y E/S sobre una tarjeta de circuito impreso y finalmente llegaron los microcontroladores.

Microprocesador.- Es un circuito integrado que contiene la Unidad Central de Proceso (UCP). Los pines de un Microprocesador sacan al exterior las líneas de sus buses de direcciones de datos y control, para permitirle conectar con la memoria, los módulos de E/S y configurar un computador implementado por varios circuitos integrados. En pocas palabras un Microprocesador es un sistema abierto con el que puede construirse un computador con las características que se desee, acoplándole los módulos necesarios. En la Figura 1.49 se indica la estructura de un microprocesador

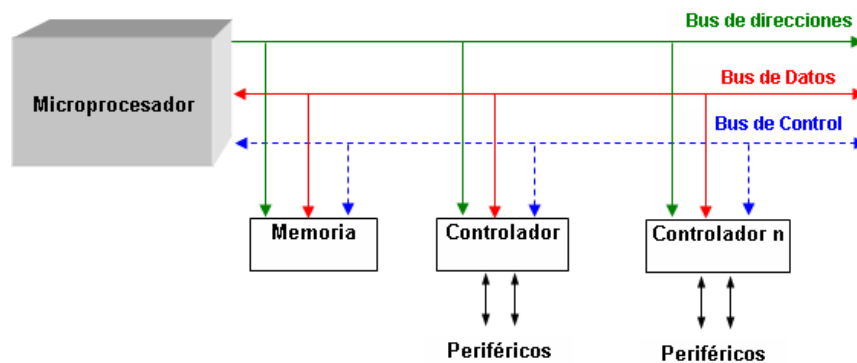


Figura 1.49 Estructura de un sistema abierto basado en Microprocesador

1.5.7.1. Microcontrolador.- Es un circuito integrado programable que contiene todos los componentes de un computador, siendo capaz de ejecutar las órdenes grabadas en su memoria, y está compuesto de varios bloques funcionales, los cuales cumplen una tarea específica. Poseen una memoria interna que almacena dos tipos de datos; las instrucciones, que corresponden al programa que se ejecuta, y los registros.

1.5.7.2. Microcontrolador PIC.- Son los microcontroladores con más éxito, debido a su bajo costo y sus altas prestaciones, pueden ser utilizados en pequeños y grandes proyectos. Todos sus circuitos comparten la misma arquitectura interna y disponen de recursos similares, aunque poseen diferentes tamaños de memoria, distinto número de puertos de Entradas / Salidas, etc.

En la Figura 1.50 se puede ver la estructura de un microcontrolador, en el cual se tiene un sistema cerrado que contiene un computador completo y recibe las instrucciones de sus periféricos de entrada y salida. Es de prestaciones limitadas que no se pueden modificar.



Figura 1.50 Estructura de un sistema abierto basado en Microcontrolador.

Al estar todos los microcontroladores integrados en un chip, su estructura fundamental y sus características básicas son muy parecidas. Todos deben disponer de los bloques esenciales como: Procesador, memoria de datos y de instrucciones, líneas de E/S, oscilador de reloj y módulos controladores de periféricos. Sin embargo, cada fabricante intenta enfatizar los recursos más idóneos para las aplicaciones a las que se destinan preferentemente.

En la Figura 1.51 se puede ver la estructura interna de un microcontrolador, en donde se aprecia que posee un circuito externo reloj, el cual indica al PIC la velocidad a la que tiene que trabajar. Este circuito es de vital importancia, ya que sin él no se puede ejecutar las órdenes o las líneas de instrucción que se encuentran programadas.

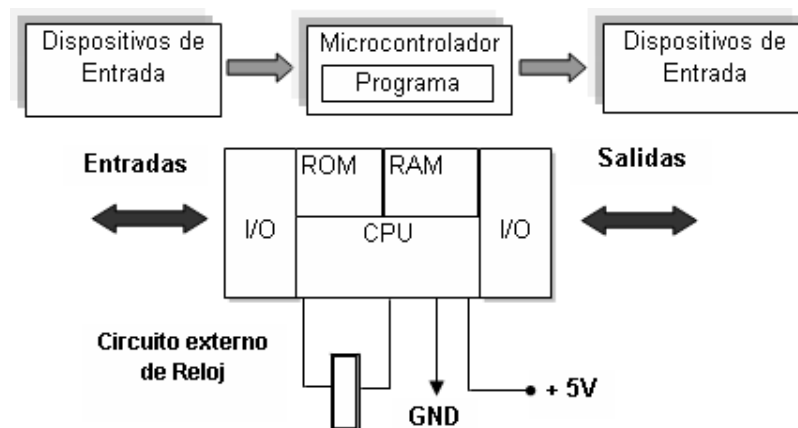


Figura 1.51 Estructura interna de un microcontrolador

Arquitectura Básica

Arquitectura Von Neumann.- Inicialmente todos los microcontroladores adoptaron esta arquitectura clásica, que se caracteriza por disponer de una sola memoria principal donde se almacenan datos e instrucciones de forma indistinta. A dicha memoria se accede a través de un sistema de buses único (direcciones, datos y control), Figura 1.52.

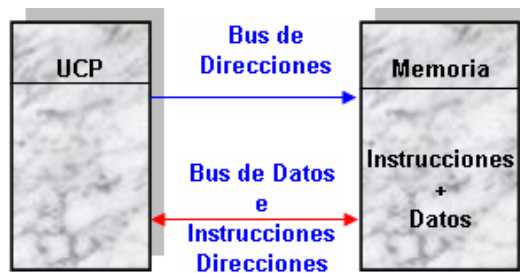


Figura 1.52 Arquitectura Von Neumann

Arquitectura Harvard.- Dispone de dos memorias independientes una, que contiene sólo instrucciones y otra, sólo datos. Ambas disponen de sus respectivos sistemas de buses de acceso y es posible realizar operaciones de acceso (lectura o escritura) simultáneamente en las dos memorias. En la Figura 1.50 se puede ver la arquitectura que actualmente manejan los PIC's.

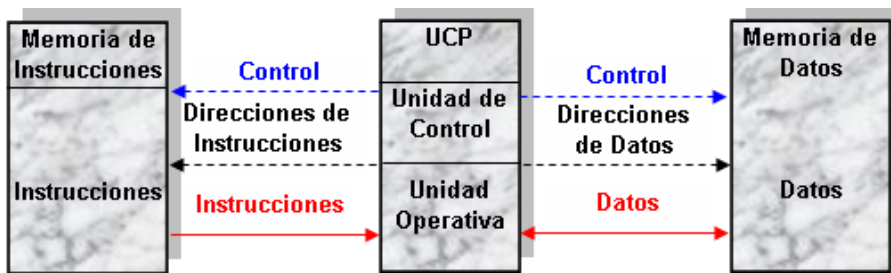


Figura 1.53 Arquitectutra Harvard actual de los Microcontroladores

Se dice que el microcontrolador es un microcomputador, y para su funcionamiento se necesita periféricos de entrada y salida. Las entradas pueden ser sensores, teclados, pulsadores, switch, etc. Las salidas igualmente dependiendo de la aplicación, pueden ser: leds, LCD, relés, computadoras, etc.

Componentes principales

- Procesador o UCP (Unidad Central de Proceso).
- Memoria ROM (Memoria de sólo lectura)
- Memoria RAM para Contener los datos.
- Memoria para el programa tipo PROM/EPROM, EEPROM, FLASH
- Líneas de E/S para comunicarse con el exterior.
- Diversos módulos para el control de periféricos (temporizadores, Puertas Serie y Paralelo, CAD: Conversores Analógico/Digital, CDA: Conversores Digital/Analógico, etc.).
- Generador de impulsos de reloj que sincronizan el funcionamiento de todo el sistema.
- Lógica de Control que coordina la Interacción entre los demás bloques.

El elemento más importante del PIC es el **procesador o UCP**, éste determina sus principales características, tanto a nivel hardware como software; y se encarga de direccionar la memoria de instrucciones.

Las características más representativas de los PIC son la **arquitectura Harvard** y la técnica de **segmentación “pipe line”**. La primera le permite al procesador acceder simultáneamente a las dos memorias y la segmentación se basa en la ejecución de las instrucciones. Logrando de esta manera elevar el rendimiento que caracteriza a estos dispositivos programables, mejorando dos características esenciales:

1. Velocidad de ejecución.
2. Eficiencia en la compactación del código.

Memoria

La memoria de instrucciones y datos está integrada en el propio chip, una parte de la memoria es no volátil, tipo ROM, y se destina a contener el programa de instrucciones que gobierna la aplicación; la otra parte es del tipo RAM, volátil, y se destina a guardar las variables y los datos.

Las memorias EEPROM y FLASH permiten que los microcontroladores puedan ser reprogramados "en circuito", es decir, sin tener que sacar el circuito integrado de la tarjeta. La reprogramación del microcontrolador puede darse por varias veces, hasta dejar a punto al sistema o equipo.

Puertos de Entrada y Salida

Son pines que salen a través de la cápsula que contiene el microcontrolador, su función es la de soportar las líneas de E/S que comunican las instrucciones del computador interno con los periféricos exteriores. Cada modelo de microcontrolador posee más o menos pines y se destinan a proporcionar el soporte a las señales de entrada, salida y control.

Temporizadores o "Timers"

Se emplean para controlar periodos de tiempo (temporizadores) y para llevar la cuenta de acontecimientos que suceden en el exterior (contadores). Para la medida de tiempos se carga un registro con el valor adecuado y a continuación dicho valor se va incrementando o decrementando al ritmo de los impulsos de reloj.

Reloj principal

Todos los microcontroladores disponen de un circuito oscilador que genera una onda cuadrada de alta frecuencia, que configura los impulsos de reloj usados en la sincronización de todas las operaciones del sistema, si la frecuencia aumenta, se disminuye el tiempo de ejecución de las instrucciones.

Perro guardián o "Watchdog"

Un microcontrolador funciona sin el control de un supervisor y de forma continuada las 24 horas del día. El Perro guardián consiste en un temporizador que, cuando se desborda y pasa por 0, provoca un reset automáticamente en el sistema.

Protección ante fallo de alimentación o "Brownout"

Se trata de un circuito que resetea al microcontrolador cuando el voltaje de alimentación (VDD) es inferior a un voltaje mínimo ("brownout").

Conversor A/D (CAD)

Los microcontroladores que incorporan un Conversor A/D (Analógico/Digital) pueden procesar señales analógicas, tan abundantes en las aplicaciones.

Estado de reposo o de bajo consumo

Se caracteriza por el bajo consumo de energía, los microcontroladores disponen de una instrucción especial (SLEEP), que los pasa al estado de reposo o de bajo consumo, en el cual los requerimientos de potencia son mínimos.

Conversor D/A (CDA)

Transforma los datos digitales obtenidos del procesamiento del microcontrolador, en su correspondiente señal analógica que envía al exterior por un pin de la cápsula.

Modulador de ancho de pulso o PWM

Esta instrucción permite enviar un tren de pulsos modulado por ancho, a un PIN. Cada ciclo de PWM está compuesto por varios pasos, y se ofrecen al exterior a través de los pines del encapsulado.

Comparador analógico

Disponen internamente de un amplificador operacional que actúa como comparador entre una señal fija de referencia y otra variable que se aplica por un pin de la cápsula. La salida del comparador proporciona un nivel lógico 1 ó 0 según una señal sea mayor o menor que la otra.

Puertos de E/S digitales

Todos los microcontroladores destinan algunos de sus pines a soportar líneas de E/S digitales. Por lo general, estas líneas se agrupan de ocho en ocho formando Puertos.

Las líneas digitales de los Puertos pueden configurarse como Entrada o como Salida cargando un 1 ó un 0 en el bit correspondiente destinado a su configuración.

Ventajas de utilizar PIC's

Los productos que para su control incorporan un microcontrolador disponen de las siguientes ventajas:

- Aumento de prestaciones, dando un mayor control sobre un determinado elemento; esto representa una mejora considerable en el mismo.
- Aumento de la fiabilidad, al poder reemplazar el microcontrolador por un elevado número de elementos; disminuye el riesgo de averías y se precisan menos ajustes.
- Reducción del tamaño en el producto acabado, la integración del microcontrolador en un chip disminuye el volumen, la mano de obra y los stocks.
- Todas las instrucciones son ortogonales. Es decir las instrucciones se pueden manejar como fuente o como destino.
- Variedad de modelos, permitiendo al usuario seleccionar el más conveniente para su proyecto.

CAPÍTULO II

DIMENSIONAMIENTO Y SELECCIÓN DE LOS ELEMENTOS DEL SISTEMA

2.1. Descripción del sistema a implementar

El proyecto a construirse, es el prototipo de un sistema autónomo aislado de la red eléctrica, con captación de energía solar en un panel fotovoltaico, montado en una estructura, que sirve de soporte para que el panel gire libremente un ángulo de 0 a 180°, necesario para el seguimiento automático del sol de este a oeste en el transcurso del día.

La energía eléctrica que se obtendrá a través del panel, será acumulada en una batería, pudiendo utilizarse esta energía en el momento propicio y adecuado. El seguimiento automático se tiene previsto realizarlo con la ayuda de un servomotor que es el encargado de transmitir el movimiento al sistema de engranajes, y éstos a su vez conectados al extremo del panel, lo hacen girar. Para que actúe el servomotor es necesario que reciba las órdenes necesarias de los sistemas de control y gobierno, para esto se han utilizado fotorresistencias, que son las encargadas de enviar la señales necesarias hacia el micro controlador PIC, que es el cerebro de control del sistema de movimiento del servomotor.

En este proyecto se tiene claro dos aspectos, el seguimiento automático del sol por posicionamiento, y abastecer de energía a los circuitos de control, movimiento, y dos pequeñas cargas de baja potencia, que se tomarán como prueba para el funcionamiento del mismo. Para esto se establecen los tiempos de consumo de cada uno a través de los cálculos respectivos.

2.2. Dimensionamiento del Panel Fotovoltaico

Para el cálculo y dimensionamiento del panel que abastecerá de energía, es necesario seguir el esquema siguiente:

- Determinar las cargas y su consumo de energía diario.
- Conocer los datos geográficos y localización de la zona de funcionamiento.
- Calcular el número de paneles para el sistema y selección del mismo.

2.2.1. Determinación de las cargas y su consumo de energía diario.

En la Tabla 2.1 se presentan las cargas, la potencia, el tiempo y el consumo de energía, de cada uno de los elementos, el consumo de energía de los elementos se determina utilizando la ecuación siguiente:

$$\text{Energía} = \text{Potencia} \times \text{Tiempo (PH/día)} \quad (\text{Ec. 2.1})$$

A	B	C	D^[35]	E
Carga	Cantidad	Potencia Teórica (W)	Horas Uso	Consumo (PH/día)
Radio-grabadora	1	6	2	12
Luminaria	1	5	3	15
Servomotor	1	0.6	0.2	0.12
Circuitos Electrónicos	1	0.5	4	2
Total PH/día				29.12

Tabla 2.1 Potencia, tiempo de utilización y consumo diario de las cargas

$$E = B \times C \times D$$

Fuente: Cálculo Personal

^[35] Valera. Aníbal. Energía Solar Teoría y Práctica. Universidad Nacional de Ingeniería. Perú. 1993. Pág. 229. Datos de las horas uso de las cargas. La potencia del servomotor se obtiene, multiplicando la corriente a plena carga por el voltaje de alimentación. Las horas uso del servomotor y los circuitos electrónicos son un cálculo del número de intervenciones en el día. Aproximadamente 3 intervenciones de 10 seg. /C.h.

2.2.2. Datos Geográficos y localización de la zona de funcionamiento

Para continuar con el diseño es necesario conocer los datos geográficos y de radiación solar de la zona de funcionamiento.

El Ecuador Continental está situado al Noroeste de América del Sur, entre 01° 28' de Latitud Norte y 05° 01 de Latitud Sur y desde los 75° 11 en la planicie Amazónica hasta los 81° 01 de longitud Oeste, limitando con el Océano Pacífico. Por su ubicación y características generales, posee las condiciones meteorológicas ideales que permiten proyectar sistemas fotovoltaicos para las más diversas aplicaciones ^[36].

Según información determinada por el INAMHI y el Observatorio Astronómico de Quito, éstos entregan valores de Heliofanía ^[37] y Radiación Solar, de los cuales se pueden obtener valores importantes en el país y la ciudad donde se pondrá en práctica el proyecto. A continuación se muestran valores promedio de Heliofanía:

En el Ecuador: 1750 Horas –Sol / año.

En Latacunga: 1629 Horas – Sol / año.

Para la ciudad de Latacunga, se tiene un promedio mensual de 135.75 horas-sol /mes, obteniendo un máximo en el mes de enero de 157.5 y un mínimo en el mes de abril de 105,2 ^[38].

De la estación Meteorológica de Izobamba en la provincia de Pichincha aproximadamente a 15 Km de la ciudad de Quito, así también de la estación Meteorológica de la ciudad de Pujilí se tiene un promedio de radiación solar de 3820 Kcal/m² para la ciudad de Latacunga ^[39].

Mas datos de Radiación solar que inciden sobre la ciudad de Latacunga y otros lugares del País, se pueden encontrar en el ANEXO A.

^[36] Heliofanía.- Cantidad de horas de sol que se recibe en la Tierra relacionándola por unidad de tiempo.

^[37] ^[38] ^[39] Guerrero. Santiago. Estudio de la Energía Solar para la Producción de Energía Eléctrica. Monografía. Facultad Ingeniería de Ejecución Electromecánica. 1998. Pág.75.

2.2.3. Selección del Sistema Generador (Panel Fotovoltaico)

Por ser un sistema pequeño, fue necesario considerar algunos factores como el tamaño, la oferta en el mercado, la potencia requerida, y el económico; son aspectos importantes que deben tomarse muy en cuenta al momento de escoger el sistema de generación.

Por necesitar una potencia de consumo pequeña, se buscó en el mercado y se pudo encontrar un panel fotovoltaico de las siguientes características técnicas:

Características Técnicas del Panel

Material: Silicio Amorfo

Voltaje Pico= 22 V

Potencia = 14 W

Largo = 92.5 cm.

Ancho = 31.5 cm.

Espesor de la Placa de vidrio = 3 mm

Recuadro de aluminio= 2 cm de ancho.

Otras características ver ANEXO B1.



2.2.3.1. Potencia del Panel (Efectiva-Esperada)

Para encontrar la potencia efectiva del panel, se hará referencia a la Ecuación 1.5 que fue mencionada en el Capítulo I; la misma que es importante para el dimensionamiento del sistema.

$$P_{\text{panel esp.}} = K \times A_{\text{panel}} \times E_f$$

Donde:

K: Constante de radiación solar que incide sobre la superficie terrestre $1000\text{W}/\text{m}^2$.

A: Área efectiva del panel en m^2 .

E_f : Eficiencia del material con el que se encuentra fabricado el panel. Teniendo un 15% para material monocristalino, 10% para policristalino, y apenas entre 5% y 7% en material amorfo^[40].

^[40] <http://www.modulosolares.com/modulos>

Entonces los cálculos para el proyecto son:

1. Área del Panel

El panel tiene las dimensiones efectivas siguientes:

$$L=90 \text{ cm}$$

$$A=29.5 \text{ cm}$$

$$A_{\text{panel}}=0.26 \text{ m}^2$$

2. Potencia del Panel esperada

$$P_{\text{panel esp.}}=1000\text{W}/\text{m}^2 \times 0.26\text{m}^2 \times 0.06$$

$$P_{\text{panel esp.}}= 15 \text{ W}$$

En este caso, los datos publicados del proveedor para este panel son de 14W.

2.2.3.2. Cálculo de Paneles necesarios

Para encontrar el número de paneles necesarios para abastecer al sistema, se empieza calculando la energía generada por el panel en los días en que la radiación solar es mínima.

Para esto es necesario conocer:

1. La potencia efectiva del panel adquirido.
2. Los valores de radiación en horas sol correspondientes al período crítico, en el sitio en que va a ser instalado el sistema.

Los valores de estos parámetros se describen a continuación:

3. La potencia pico esperada por el panel es de 14 W.
4. Según el INAMHI los datos registrados en la ciudad de Latacunga para el período más crítico, corresponden al mes de abril y su valor es de 105.2 horas sol/mes. Con estos datos se puede utilizar la ecuación siguiente:

$$E_p = P_p \times E_f \times N_h / 30 \quad [41] \quad (\text{Ec. 2.2})$$

Donde:

E_p : Energía generada por el pane

P_p : Potencia efectiva del panel

E_f : Eficiencia del panel

N_h : Número de horas-sol en el mes crítico

Reemplazando los datos se obtiene:

En este caso ya se tiene la potencia efectiva del panel, considerado la eficiencia correspondiente del material por el cual está constituido el panel.

$$E_p = 14 \text{ W} \times \left(\frac{105.2}{30} \right)$$

$$E_p = 49 \text{ Wh/día}$$

2.2.3.3. Número de paneles

- a. Se obtiene el número de paneles a través de la relación de los valores de la energía requerida, con respecto a la energía generada.

$$\text{Número de paneles} = \frac{\text{Energía requerida}}{\text{Energía generada}} \quad [42] \quad (\text{Ec. 2.3})$$

$$\text{Número de paneles} = \frac{29.12 \text{ Wh/día}}{49 \text{ Wh/día}}$$

$$\text{Número de paneles} = 0.60 \Rightarrow 1 \text{ panel}$$

En el caso de necesitarse 2 o más paneles, se debe conocer; si estos deben ser conectados en serie o paralelo para abastecer al sistema, a continuación se realiza el cálculo respectivo:

[41] [42] Guerrero Santiago. Estudio de la Energía Solar para la Producción de Energía Eléctrica. ESPEL. Facultad Ingeniería Electromecánica. 1998. Pág. 76-77

- b. Se calcula el número de paneles en serie (**Nps**) que constituyen cada rama, dividiendo el valor de la tensión nominal deseada de la instalación por la tensión nominal del módulo o panel. Así, se dispone de la siguiente ecuación:

$$N_{ps} = \frac{V_n (V)}{V_{np} (V)} \quad [43] \quad (\text{Ec.2.4})$$

Donde:

Nps: Número de paneles en serie

Vn: Voltaje nominal del sistema en voltios en este caso es de 12 V.

Vnp: Voltaje nominal del panel en voltios en este caso es de 20V.

Utilizando la ecuación 2.3 se tiene:

$$N_{ps} = \frac{12 (V)}{20(V)} = 0.6$$

$$N_{ps} \cong 1$$

- c. Se calcula el número de paneles en paralelo (**Npp**) dividiendo la potencia instalada (P) por el producto de la potencia de un panel (Pm) por la eficiencia del mismo que es un 80%. Como se indica en la ecuación:

$$N_{pp} = \frac{P (Kw)}{P_{mp} (Kw) \times 0.8} \quad [44] \quad (\text{Ec.2.5})$$

Donde:

Npp: Número de paneles en paralelo

P: Potencia instalada en W o KW

Pmp: Potencia máxima efectiva del panel

Utilizando la ecuación 2.5 se tiene:

$$N_{pp} = \frac{29.12 (W)}{49 (W) \times 0.8}$$

$$N_{pp} = 0.74 \Rightarrow 1$$

[43] [44] Guerrero Santiago. Estudio de la Energía Solar para la Producción de Energía Eléctrica. ESPEL. Facultad Ingeniería Electromecánica. 1998. Pág. 77

- d. Por último se calcula el número total de paneles multiplicando el valor de paneles en serie (Nps) por el número de paneles en paralelo (Npp), como se tiene a continuación:

$$N_{pt} = N_{ps} \times N_{pp} \quad [45] \quad (\text{Ec.2.6})$$

$$N_{pt} = 1 \times .0.6 = 0.6$$

$$N_{pt} \approx 1$$

Para el caso que se está dimensionando se escoge el aproximado que corresponde a un panel, ya que no se pueden conseguir en el mercado fracciones de panel.

a. Selección del Servomotor

La selección del servomotor, se fundamenta en el análisis de dos aspectos importantes dentro del sistema, y éstos son: a) El mecánico y b) El eléctrico - electrónico.

- a. El análisis mecánico, consiste en calcular el torque (T) del servomotor que debe transmitir, al juego de engranajes conectados a su eje; capaz de vencer el peso del panel y lograr posicionar al mismo en el sitio adecuado.
- b. El análisis eléctrico-electrónico tiene que ver con la disposición y control de giro del motor a través del control del ancho de pulso PWM, que será incorporado en las tarjetas electrónicas. Esto se detalla con mayor especificación técnica en el ítem 2.4.

2.3.1. Análisis Mecánico

2.3.1.1. Torque del servomotor

Para encontrar el torque (T) del servomotor, en primera instancia se debe calcular el momento de inercia del cuerpo que necesita ser girado, en este caso; se trata del panel fotovoltaico.

[45] Guerrero Santiago. Estudio de la Energía Solar para la Producción de Energía Eléctrica. ESPEL. Facultad Ingeniería Electromecánica. 1998. Pág. 78

El Momento de Inercia (**I**) es una magnitud o medida de la resistencia que opone todo cuerpo a ser movido y acelerado en rotación, éste depende de la masa total del cuerpo y de su distribución con respecto al eje de aplicación.

A continuación en la Figura 2.1 se tiene un detalle de la forma del panel. En el mismo se tiene el eje (0), que representa el centro de masas; y es el eje con respecto al cual se debe calcular el momento de Inercia (**I_G**).

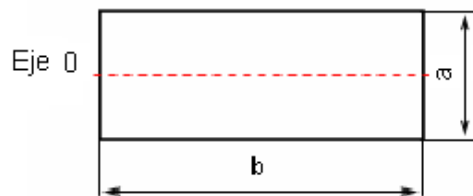


Figura 2.1 Detalle del Panel

Se conoce el peso del panel como dato de fábrica, además éste tiene forma rectangular. Estos datos permiten calcular el momento de Inercia mediante la siguiente ecuación:

$$I_G = \frac{1}{12} m(a^2 + b^2) \quad [46] \quad \text{(Ec.2.7)}$$

Donde:

I_G = Momento de Inercia con respecto al eje O.

m = Masa del cuerpo

a = Ancho del panel (30 cm.)

b = Largo del panel (98 cm.)

Se conoce el Peso del panel, corresponde a 4.1Kg, se debe calcular la Masa del Cuerpo; utilizando la ecuación:

$$m = P/g \quad (Kg) \quad [47] \quad \text{(Ec.2.8)}$$

$$m = 4.1/9.8$$

$$m = 0.41837 \text{ Kg.}$$

^{[46][47]} Oberg - Jones. Manual Universal de la Técnica Mecánica. Editorial Labor S.A. Tomo I. 1979. Pág.321.

Utilizando la Ecuación 2.7 se tiene:

$$I_G = \frac{1}{12} \cdot 0.41387 (0.3^2 + 0.9^2)$$

$$I_G = 0.03104 \text{ Kg.m}^2$$

Luego de encontrar el Momento de Inercia (I_G) se puede obtener el Torque del servomotor aplicando la siguiente ecuación:

$$T = J_T \cdot \gamma \tag{Ec. 2.9}$$

Donde:

T = Torque del servomotor necesario para mover el panel (oz.pulg.)

$J_T = I_G$: Carga Inercial o Momento de Inercia Total en (Kg.m^2)

Gama = Aceleración angular.

La **Aceleración angular** (Gama) es la variación de velocidad angular dividida por el tiempo empleado en el movimiento. Se puede calcular como el doble del ángulo en radianes dividido por el cuadrado del tiempo empleado ^[48] .

La velocidad de operación del servomotor es de 60 grados/0.15segundos, este dato es conocido como dato de fábrica del servomotor encontrado en el mercado. Los 60 grados corresponden a 1.0472 radianes.

Aplicando la ecuación 2.9 se tiene:

$$T = 0.03104 \text{ Kg. m}^2 \times \left[\frac{2 \cdot (1.047)}{(0.15)^2 \text{ seg}^2} \right]$$

$$T = 2.9206 \text{ N.m}$$

$$1 \text{ Nm} = 14.2 \text{ oz.in}$$

$$T = 41.46 \text{ oz.in}$$

2.3.1.2. Cálculo de la relación de transmisión

Para el movimiento del panel fotovoltaico, se ha escogido un sistema de transmisión de movimiento por engranajes de dientes rectos.

^[48] <http://www.todoexpertos.com/categorias/ciencias-e-ingenieria/fisica/respuestas/1576087/calcular.torque-de-un-motor>.

La selección tiene fundamento en que el sistema necesita una “i” menor a 1/10, recomendado para este tipo de transmisión. El motor trabajará a una velocidad menor a 100 rpm, además tendrá un avance pequeño y fino por pulsos, ayudado además; por la utilización de ruedas dentadas con módulos ≤ 1 .

Aproximadamente el motor empieza a girar a partir de 06h00, cuando el sol empieza su ascenso y deja de hacerlo cuando el sol se oculte, aproximadamente a las 18h00. Lo cual indica que el motor trabajará por un tiempo de 12 horas.

Si la Tierra gira una vuelta en 24 h, entonces se puede decir que es igual como si girara 360° , como se necesita que el motor actúe por 12 h, entonces debe recorrer 180° en 12h. Haciendo una relación se determina que aproximadamente la Tierra gira a 15° / hora.

El servomotor, tiene como característica que a un ancho de pulso de 1 ms = 0 grados, 1.50 ms = 90 grados y 2.5 ms = 180 grados.

Se puede calcular el ancho de pulso para que el motor gire en pasos de 1 grado, pero en este caso se tiene un consumo de energía innecesario. Ésta es la razón por la cual se ha decidido que al dar pulsos con un tiempo de 1.044 ms, el motor gire 8 grados. Con esto se consigue que el panel gire aproximadamente 2 grados, logrando de esta manera que el panel fotovoltaico tenga un avance continuo, y su posicionamiento sea estable.

Resulta fácil encontrar el valor de ancho de pulso de 1.044ms que corresponde al avance de 8 grados, para esto; se toma la diferencia del tiempo de 1ms que posiciona al motor en 0 grados y de 1.5 ms que alcanza los 90° , esta diferencia de 0.5 ms se divide para los 90 grados que recorre de un punto a otro. El valor que se obtiene corresponde a un tiempo de 0.0055 ms/grado.

En resumen, si se desea recorrer 8 grados se tendría que aumentar al tiempo de 1 ms que es el punto inicial de “0” grados, el valor de 0.044ms, dando como resultado 1.044ms. En caso de necesitar un ajuste más controlado y una velocidad de respuesta diferente en el avance; se lo puede realizar por medio del programa en el Microcontrolador PIC.

Partiendo de estos datos se tiene:

$$\frac{T_2}{T_1} = \frac{D_2}{D_1} = \frac{\theta_1}{\theta_2} = \frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{Z_2}{Z_1} = 4$$

Por recomendación en el diseño de engranajes rectos, el ángulo de presión preferido es de 20° ^[49]. Esto obliga a que no se elijan engranajes por debajo de 18 dientes cuando el **ángulo de presión** es 20°.

Se tiene como dato:

$$Z_1 = 18 \text{ dientes}$$

Entonces:

$$Z_2 = 4 \times Z_1 = 4 \times 18$$

$$Z_2 = 72 \text{ dientes.}$$

Para este proyecto se utilizarán las siguientes ruedas dentadas:

$Z_1 = 18$ dientes y $Z_2 = 75$ dientes; Módulo= 0.75, que se encontraron en el mercado.

Además de reducir la velocidad, el sistema de transmisión ofrece mayor potencia y mayor par de arranque.

En la teoría se mencionó que los piñones, pueden ser fabricados en diferentes tipos de materiales como el acero al carbón, bronce, aluminio, hierro, duralón, plástico, etc.

Se ha seleccionado un material en hierro dulce, por estar sometidos a un esfuerzo menor a los 5 Kg.

Tomando como valores de referencia, el Torque calculado, la facilidad que tiene para ser controlado por ancho de pulso, lograr un recorrido angular y posicionamiento, y la opción de encontrarlo en el mercado; se ha optado por adquirir el Servomotor que se indica a continuación en la Figura 2.2, con todas sus características técnicas.

^[49] Faires. Moring. Diseño de Elementos de Máquinas. UTEHA. 1982. Pag.467-468-469

Angulo de Presión.- Angulo que gira el engranaje desde que entran en contacto un par de dientes hasta que termina su contacto. Esto también se conoce como juego entre dientes.

Especificaciones Técnicas más importantes

Características	
<p>Tipo: Hitec HS311.</p> <p>Voltaje de Operación: 4.8-6.0 Voltios</p> <p>Velocidad de Operación a (4.8V): 0.19seg/60°</p> <p>Velocidad de Operación a (6.0V): 0.15seg/60°</p> <p>Máximo Torque a (4.8V): 40.1 oz/in. (2.9kg.cm)</p> <p>Máximo Torque a (6.0V): 49.6 oz/in. (4.5kg.cm)</p> <p>Modificación a los 360° : Si</p> <p>Consumo de Corriente a (4.8V): 7.7mA/reposo</p> <p>Consumo de Corriente a (6.0V): 8mA/reposo</p> <p>Tipo de Motor: 3 Polos Magnéticos</p> <p>Dimensiones: (41 x 20 x 36mm)</p> <p>Peso: 1.52 oz. (43.g)</p>	

Figura 2.2 Servomotor Hitec HS -311 y sus características Técnicas

2.3.2. Análisis eléctrico – electrónico.

2.3.2.1. Modulación de Ancho de Pulso

Debido a la flexibilidad y facilidad que presta el servomotor Hitec HS-311, se puede enviar la señal modulada en ancho de pulso PWM desde el microcontrolador hacia el servomotor. Para controlar un servomotor, basta con aplicar un pulso de duración y frecuencia específicos. Así, el tren de pulsos hará que el circuito de control interno envíe la señal al servomotor y éste se ubique en la posición indicada.

A continuación se va a explicar los pulsos con sus respectivos tiempos que se deben enviar hacia el servomotor para su funcionamiento.

1. La primera señal sirve para que el motor gire en la dirección este – oeste, el pulso tiene una duración de 1.044 ms en alto y 20ms en bajo para que el motor gire 8°, siguiendo el movimiento aparente del sol, con esto hace que el panel gire solamente 2 grados por medio de la transmisión de engranajes.
2. La segunda señal tiene un pulso de duración de 1,0 ms en alto y cada 20ms se envía este pulso, con el propósito de mantener el motor en la misma posición. Es necesario enviarle este pulso correspondiente, de este modo si existe alguna fuerza que le obligue a abandonar esta posición, esto ayudará a que el panel se mantenga.
3. Cuando el sol se oculta y el sistema no detecta la presencia de luz solar, el seguidor llega hasta el final de la posición de occidente y se mantiene en ese sitio hasta el siguiente día en que empieza su nueva búsqueda. Esto se lo hace enviando la señal de pulso de 2.3ms en alto y 20ms en bajo para que retorne del oeste al este, hasta encontrar la mayor incidencia de luz, logrando mantenerse en esta posición.

A continuación se indica en la Figura 2.3 el tren de pulsos con los cuales se espera controlar el servomotor.

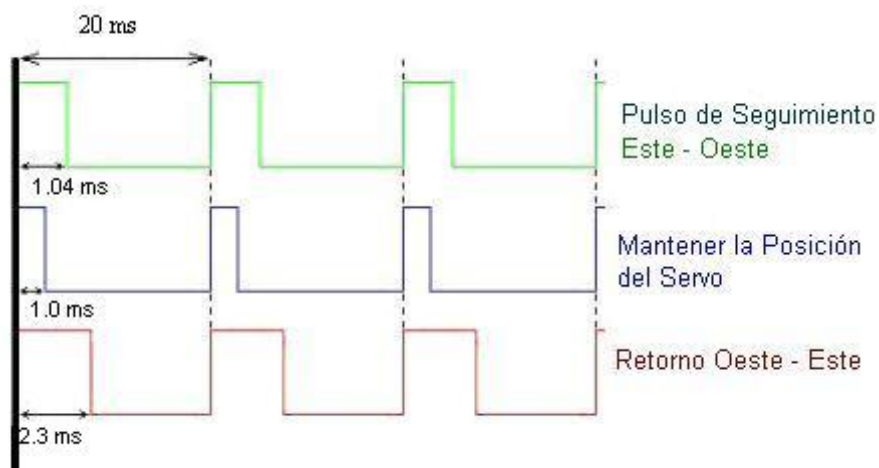


Figura 2.3 Tren de pulsos para control del servo

2.4. Equipo de Acumulación y Aparatos de Visualización

2.4.1. Selección de la Batería

El equipo de almacenamiento, es uno de los más importantes dentro del sistema de instalación fotovoltaico, ya que debe suplir y entregar la energía necesaria para mantener en funcionamiento a las cargas que se encuentran conectados al mismo. Esto hace que al dimensionar la batería; se deben analizar algunos aspectos como: los días de autonomía, la carga diaria, la radiación solar, la capacidad de la batería, el costo, el mantenimiento, el desfase entre los consumos por efecto del usuario, etc. Como se puede observar, son muchos los aspectos que una batería debe reunir para ser utilizada. Pero los aspectos más importantes son los días de autonomía y la capacidad de carga para poder mantener en funcionamiento al sistema.

A continuación se presenta un método simple y sencillo con el cual se puede dimensionar y seleccionar la batería.

1. Para sistemas fotovoltaicos domiciliarios y de grandes tamaños, es necesario realizar un análisis de aspectos como: días sin radiación, la estación del año, etc. Razón por la cual los entendidos les asignan valores comprendidos entre 7 a 15 días de autonomía en tiempos críticos ^[50]. para los meses de mayor insolación se asignan menos días, y en sistemas pequeños, valores entre 3 y 5 días ^[51].
2. En cuanto a la carga de la batería, la potencia del módulo, juega un papel importante, por ejemplo un módulo de 50 W_p entrega diariamente a una batería de 170 a 250 Wh, es decir de 5 a 7,5 kWh / mes, en condiciones de radiaciones solares típicas de 4 a 6 kWh/m²día. En este caso para baterías de 12 V, esto corresponde a una carga diaria de 12 a 18 Ah.
3. En sistemas fotovoltaicos, la capacidad de la batería se define por su capacidad de entregar una determinada carga en 20 o 100 horas a 25 °C, denominada C₂₀ y C₁₀₀, respectivamente. Claro que C₁₀₀ es 20-30% mayor que C₂₀ para una misma batería.

2.4.1.1. Parámetros de cálculo para la batería

La acumulación de energía (Acu) necesaria para el sistema, se encuentra a través del producto entre los días de autonomía y la demanda de energía que se tiene en horario nocturno, como se indica en la siguiente ecuación:

[50] Cooperación Internacional. Energías Renovables para el desarrollo. Thompson/Paraninfo. 2003. Pág. 124.

[51] Cwebmasterfc@uni.edu.pe Universidad Nacional de Ingeniería del Perú. Facultad de Ciencias.

$$Acu_{m\acute{a}x} = Au \times Dmi \quad (KWh \text{ o } Wh) \quad [52] \quad \text{(Ec.2.10)}$$

Donde:

$Acu_{m\acute{a}x}$: Acumulación máxima de energía en KWh o Wh

Au: Días de Autonomía

Dmi: Demanda máxima de energía nocturno en el período crítico.

La capacidad mínima de la batería (CB) para un régimen de descarga se encuentra mediante la ecuación:

$$CB_{100} = \frac{Acu_{m\acute{a}x}}{PD_{100}} \quad (KWh) \quad [53] \quad \text{(Ec.2.11)}$$

Donde:

CB_{100} : Capacidad de descarga para un régimen de 100 horas

Au: Número de días de autonomía

PD_{100} : Profundidad de descarga máxima

La PD no debe superar el 70% en baterías que admitan descargas profundas, ni el 40% en baterías de plomo-ácido convencionales.

Para encontrar los valores de la batería en amperios-hora (Ah) se relaciona el valor de la capacidad de la batería (CB) por la del voltaje de la batería, para esto se utiliza la ecuación:

$$CB \text{ Ah} = \frac{CB_{100}}{V_{BATERIA}} \quad (Ah) \quad [54] \quad \text{(Ec.2.12)}$$

Calculando:

Por tratarse de un sistema prototipo, se tiene previsto hacer los cálculos de acumulación de energía para dos días de autonomía.

[52] [53] [54] Cooperación Internacional. Energías Renovables para el desarrollo. Thompson/Paraninfo. 2003. Pág. 125.

Aplicando la Ecuación 2.10 se tiene:

$$Acu_{m\acute{a}x} = 2 \times 29.12 \text{ Wh}$$

$$Acu_{m\acute{a}x} = 58.24 \text{ Wh}$$

La capacidad de la batería es:

$$CB_{100} = \frac{Acu_{m\acute{a}x} (KWh)}{PD_{100}}$$

$$CB_{100} = \frac{58.24 \text{ Wh}}{0.7}$$

$$CB_{100} = 83 \text{ Wh}$$

Amperios-hora de la batería

$$CB \text{ Ah} = \frac{CB_{100}}{V_{BATERIA}} (Ah)$$

$$CB \text{ Ah} = \frac{84}{12} (Ah)$$

$$CB \text{ Ah} = 7 \text{ Ah}$$

Luego de haber realizado los cálculos necesarios para conocer los parámetros técnicos y eléctricos con los cuales debe operar la batería en el sistema, se escogió la batería que se encontró en el mercado y que se observa en la Figura 2.4.

Características técnicas Principales	Gráfico
---	----------------

<p>Batería tipo gelificada</p> <p>Voltaje nominal = 12 Voltios</p> <p>Capacidad = 9 Ah</p> <p>Ciclo flotante de Voltaje = 11.4 V a 13.4 V</p>	
---	--

Figura 2.4 Batería seleccionada

La selección se fundamentó tomando como base algunos factores y valores que fueron limitantes al momento de escoger esta batería, como se indica a continuación:

1. Se requiere cargar una batería que es alimentada por un sistema que entrega 0.81 A, a voltaje regulado de 12V con una máxima Radiación Solar.
2. Si se toma en cuenta estos dos valores, y se puede calcular lo que la batería puede almacenar de energía:

$$E_{AB} = V \times I \times t \tag{Ec. 2.13}$$

Donde:

E_{AB} : Energía almacenada por la batería

V: Voltaje del sistema

I: Corriente suministrada por el sistema

t: Horas totales en que se puede almacenar energía solar, en este caso 7 horas

Calculando se obtiene:

$$E_{AB} = 12 \text{ V} \times 0.81\text{A} \times 7\text{h}$$

$$E_{AB} = 58.32 \text{ Wh/día}$$

3. El panel genera 22V en su mayor radiación solar, al disminuir ésta; la tensión y la corriente disminuyen, razón por la cual se tuvo que regular el voltaje y la corriente.
4. El sistema está dimensionado para regular el valor de 11.4V a 14V como es la característica técnica de ciclo flotante de la batería.
5. La corriente está dimensionada para que siempre se esté cargando a un valor regulado, si el sistema genera a mayor corriente, no hay problema, la batería soporta valores más altos de corriente de carga, siempre y cuando, éste no sobrepase el valor del voltaje de gasificación de las celdas, que es 2.4V/celda. Esto se logra disminuyendo la corriente y aumentando el tiempo de carga, lo cual ayuda a mejorar la eficiencia en la batería. En este caso corresponde a 500 mA para un tiempo de 20 horas, especificado en la hoja de características técnicas de la batería.

2.4.2. Dispositivos de Visualización

El equipo dispondrá de elementos de visualización, los mismos que ayudarán a tener una mejor interpretación de lo que se quiere demostrar, en el momento que se encuentre el equipo en funcionamiento.

El detalle de los instrumentos indicadores, se tiene a continuación:

1. Amperímetro con una escala de 0 a 1000 mA DC, que sirve para visualizar el valor de corriente que entrega el panel fotovoltaico para carga de la batería.
2. Voltímetro con escala de 0 a 30 V DC, para mostrar el voltaje de entrega del panel fotovoltaico.
3. Amperímetro con escala de 0 a 5 A DC, para exhibir el consumo de corriente de la batería en el momento de conectar la carga.
4. Voltímetro con escala de 0 a 30 V DC, para visualizar el voltaje de batería en todo momento.
5. Se conecta un inversor de corriente de 12 V DC a 110 V AC. El propósito de conectar un inversor, es por la facilidad que presta este sistema de Inversión de Corriente, en el

momento de buscar en el mercado; aparatos de Corriente Alterna y de bajo consumo de potencia. Las características técnicas del Inversor se encuentran en el Anexo B2.

2.5 Diseño de Circuitos de Seguimiento y Posicionamiento

El análisis de este punto es uno de los más importantes, por disponer del conjunto donde se brinda el control y funcionamiento del sistema. Para esto se ha dividido en dos bloques que en realidad tienen una interacción en conjunto.

2.5.1. Selección del Microcontrolador (PIC)

Por tratarse de un sistema autónomo, en donde se controlan pocas variables como son la señal de pulsos hacia el servomotor, entrada-salida de la batería, la carga del sistema, y señales del seguidor solar a través de las fotorresistencias; hay que tomar en cuenta que el Microcontrolador debe manejar señales PWM en sus salidas para controlar al servomotor. Además debe poseer entradas que permiten convertir señales analógicas en digitales, de modo que se pueda analizar la variación de voltaje producido en las fotorresistencias que serán utilizadas para direccionar el panel.

Se ha visto conveniente utilizar el microcontrolador 16F873, por cumplir los requisitos necesarios que ayuden al mejor desenvolvimiento del sistema ya que cumple con los requerimientos de entradas y salidas digitales y analógicas para el sistema y consume la mínima cantidad de energía, apenas entre 25mA y 30mA sin carga por lo cual es recomendable para este sistema autónomo.

El microcontrolador PIC16F873 es un circuito de 28 pines, 4Kbytes de RAM Flash de programa, 192 Bytes de Memoria de datos, 128 bytes de data EEPROM. Además posee 5 canales A/D, 2 módulos PWM, 1 modulo SSMP para comunicación serial asincrónica, serial de alta velocidad y 3 puertos I/O denominados RA (de 6 bits), RB (de 8 bits) y RC (de 8 bits).

El circuito básico de funcionamiento se muestra a continuación (Figura 2.5).

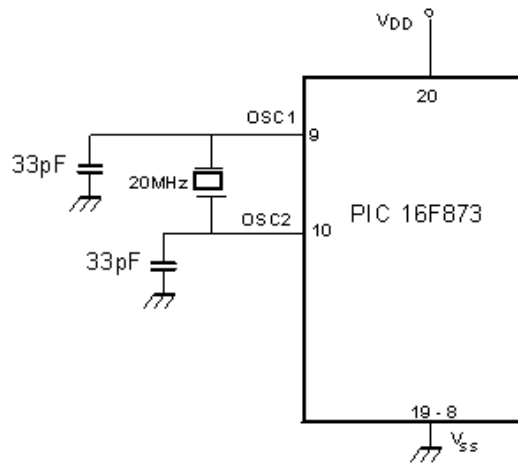


Figura 2.5 Circuito básico del PIC 16F873

El microcontrolador requiere de polarización de 5Vcc en su terminal de Vdd (pin 20) y tierra GND en Vss (pines 19 y 8). Para su funcionamiento requiere también de un reloj externo compuesto de un oscilador de cristal de 20MHz, el mismo que provee de un tren de pulsos necesario para la ejecución sincronizada de las instrucciones, conectado a los pines OSC1 y OSC2 con dos capacitores de 22pF a 33pF conectados a tierra que complementan la polarización del oscilador a través del circuito interno del microcontrolador.

La configuración de pines es la siguiente (Figura 2.6).

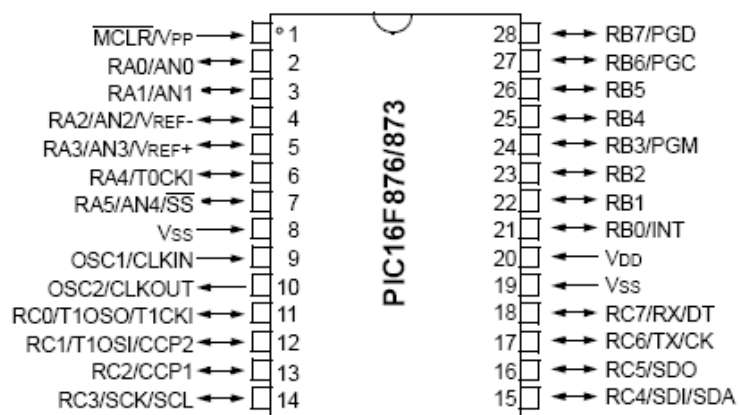


Figura 2.6 Configuración de pines del PIC16F873

La Tabla 2.2 describe cada uno de los pines, como la mayoría de PIC's los pines tienen múltiples funciones que pueden ser seleccionadas en el modo de programación.

NOMBRE DEL PIN	# PIN	DESCRIPCIÓN
OSC1/CLKIN	9	Entrada oscilador de cristal / Entrada de reloj externo
OSC2/CLKOUT	10	Salida oscilador de cristal / Conectar un cristal o circuito resonante en modo oscilador de cristal. En modo RC, el pin OSC2 es una salida con una frecuencia de ¼ de la frecuencia de OSC1 que indica el rango de los ciclos de instrucción.
MCLR/Vpp	1	Master Clear (Reinicio general) este pin es una entrada que se activa en nivel bajo para reiniciar el micro.
RA0/AN0	2	Puerto A bidireccional I/O. RA0 puede también ser Input0 analógica. RA1 puede también ser Input1 analógica. RA2 puede también ser Input2 analógica o una referencia de voltaje analógico negativo. RA3 puede también ser Input3 analógica o una referencia de voltaje analógico positivo. RA4 puede también ser una entrada de reloj para el módulo Timer0. Esta salida es de drenaje abierto. RA5 puede también ser Input4 analógica o una opción esclava para sincronizar el puerto serial.
RA1/AN1	3	
RA2/AN2/V _{REF-}	4	
RA3/AN3/ V _{REF+}	5	
RA4/T0CKI	6	
RA5/SS/AN4	7	
RB0/INT		Puerto B bidireccional I/O. RB0 puede también ser un pin de interrupción externo. RB3 puede también ser una entrada de programación de voltaje bajo. Pin de interrupción por flanco. Pin de interrupción por flanco. Pin de interrupción por flanco o pin de puesta a punto. Programación de reloj serial. Pin de interrupción por flanco o pin de puesta a punto. Datos de programación serial.
RB1		
RB2		
RB3/PGM		
RB4		
RB5		
RB6/PGC		
RB7/PGD		
RC0/T1OSO/T1CKI		Puerto C bidireccional I/O RC0 puede también ser Salida de oscilador de Timer1 o entrada de reloj. RC1 puede también ser entrada de oscilador de Timer1 o Captura2 entrada/Comparación2, salida/PWM2. RC2 puede también ser Captura1 entrada/Comparación1, salida/PWM1. RC3 puede también ser reloj serial síncrono I/O para modos SPI y I ² C. RC4 puede también ser entrada de datos SPI (modo
RC1/T1OSI/CCP2		
RC2/CCP1		
RC3/SCK/SCL		
RC4/SDI/SDA		

RC5/SDO		SPI o data I/O (modo I ² C).
RC6/TX/CK		RC5 puede también ser salida de datos SPI (modo SPI).
RC7/RX/DT		RC6 puede también ser transmisor asíncrono en modo serial o reloj síncrono. RC7 puede también ser receptor asíncrono en modo serial o datos síncronos.
V _{SS}	8, 19	Tierra de referencia
V _{DD}	20	Alimentación positiva

Tabla 2.2 Descripción de pines del PIC16F873

2.5.2. Sistema de Seguimiento del Sol

Los elementos actuadores y principales del sistema son dos fotorresistencias montados en la parte lateral del panel, dispuestos para recibir la luz solar en la dirección ESTE y OESTE. Las fotorresistencias se encuentran montadas dentro de tubos rectangulares, pero con la particularidad que no dispone de una de sus caras, que hacen a la vez de filtros dispuestos de la manera en que si el detector logra apuntar al Sol, o los rayos cubren una pequeña parte de los elementos, estos varían su resistencia. Cualquier variación en la resistencia interna de los foto resistores se convierte en una variación de voltaje a la entrada del microcontrolador, debido a la configuración de divisor de voltaje en la que se ha montado las fotorresistencias, como se puede observar en la Figura 2.7.

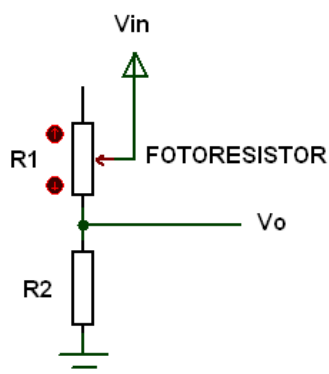


Figura 2.7 Configuración de foto resistores en divisor de voltaje.

Mientras mayor sea la luz recibida por el fotorresistor, su resistencia interna disminuye, por lo tanto mayor será el voltaje presente a la entrada analógica del microcontrolador. Internamente, el micro controlador convierte las señales de voltaje analógico (0 a 5Vcc) en una señal digital que posteriormente es comparada para saber cuál de los dos foto resistores (ESTE u OESTE) es el que está recibiendo mayor cantidad de luz. El voltaje de salida se calcula con la siguiente ecuación:

$$V_o = V_{in} \frac{R_2}{R_1 + R_2} \quad (\text{Ec.2.14})$$

Donde:

R1 es la resistencia de la fotorresistencia conectada a Bco.

R2 es la resistencia de 10K conectada a tierra.

Con esta relación se envía una señal de control PWM al servomotor para que cambie su posición hacia el lado que mayor luz recibe. Este ciclo se repite hasta que la incidencia de luz sea igual en las dos fotorresistencias, lo cual le indica al sistema que el panel está en la mejor posición de recepción de luz solar.

2.6. Estructura Soporte Principal

Para el diseño y construcción de la estructura principal del equipo, hay que considerar las dimensiones y peso del panel solar, el motor de posicionamiento angular, la tarjeta de control que hace posible el seguimiento del Sol, el mecanismo de engranajes y rodamientos para transmisión de movimiento del panel solar.

Además, el diseño de la estructura debe garantizar y facilitar el montaje, desmontaje y movimiento del panel solar, la posibilidad de sustitución de elementos y los factores ambientales a los cuales va a estar sometido como son viento, lluvia, etc.

Considerando las características antes mencionadas, se escoge un material de fácil soldabilidad, mecanizado y adquisición en el mercado. Para la estructura total se elige tubo cuadrado tipo ASTM A36K. El tubo cuadrado estructural ASTM A36K con una dimensión de 1 pulgada, tiene un punto mínimo a la deformación, siendo un acero de bajo

carbono y es capaz de soportar cargas hasta de 125 Kg, en este caso el peso del panel es menor a 5 Kg.

En la parte frontal de la base de la estructura del equipo, se dispondrá una lámina de metal galvanizado de 1/8 de pulgada, que a su vez servirá para alojar a los dispositivos de visualización y medición como son voltímetros, amperímetros y otros. Además este tipo de material disminuye el efecto de la corrosión a la intemperie.

2.6.1. Base del Motor, Ejes, Chumaceras y Rodamientos

Para la fabricación de la base del motor se escoge un material ASTM A36K, pletina de 3/4 x 1/8 de Pulgada. Se elige este material y estas dimensiones tomando como referencia las características del servomotor indicadas en la Figura 2.5 de este mismo capítulo.

Ejes.- La construcción de los ejes que servirán de soporte y transmisión de movimiento del panel fotovoltaico, tienen que ser fabricados en un material que resista la intemperie, que sea de un fácil mecanizado, y que se encuentre en el mercado, para esto se recomiendan el Acero de Transmisión y el Acero Plata K-510 de Bohler; se escoge este último por disponer en el taller donde se fabricó los ejes.

Rodamientos.- En este proyecto, se ha escogido los rodamientos de bolas de hilera simple; seleccionados bajo el siguiente criterio técnico: a) Soportan las cargas axiales y radiales a las que está sometido el panel fotovoltaico b) La velocidad de giro del panel no sobrepasa de 30 rpm; bajo estos dos criterios se utilizó el rodamiento en marca NTN 6008 2Z de fácil disponibilidad en el mercado.

Chumaceras.- La finalidad principal de estos elementos, es que sirven de alojamiento para los rodamientos y los ejes; los mismos que ayudan a que el panel gire de manera suave y libre. El material escogido es el Acero Plata K-510 de Bohler.

Las dimensiones y características de la base, ejes, bocines, etc., se encuentran detalladas dentro del plano general mecánico en el ANEXO C.

CAPÍTULO III

CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN

3.1 Construcción de la base y montaje del panel.

3.1.1. Construcción de la base

La estructura, el diseño y la forma escogida sirven para soportar esfuerzos por efecto del peso del panel y el medio ambiente al cual se encuentra sometido el equipo. Para esto, la base está construida en su totalidad con tubo cuadrado estructural de 1 pulgada recubierto con una capa de fondo y pintura que ayudan a evitar el menor daño producido por la corrosión del ambiente.

La Figura 3.1 muestra la forma de la base, ésta se sustenta en que se trata de un prototipo de sistema autónomo de seguimiento solar en un solo eje. Las dimensiones de largo, ancho y altura de la estructura, fueron dimensionadas con respecto a las medidas del Panel solar.

En la parte inferior de la base tiene un espacio en el mismo que se tiene previsto el montaje todos los elementos para el control de seguimiento del sol, acumulación y dispositivos de medición.

1

2

Figura 3.1 Base Soporte

3.1.2. Montaje del Panel

En la base del equipo mostrado en la Figura 3.1, se tienen las estructuras 1 y 2 que sirven como soporte para el montaje del panel fotovoltaico. En la Figura 3.2 se puede observar que en la parte central del eje de acción del panel, se han fijado bases construidas en Acero ASTM A36K y sirven de guía para mantener estable al panel cuando se encuentra en movimiento.

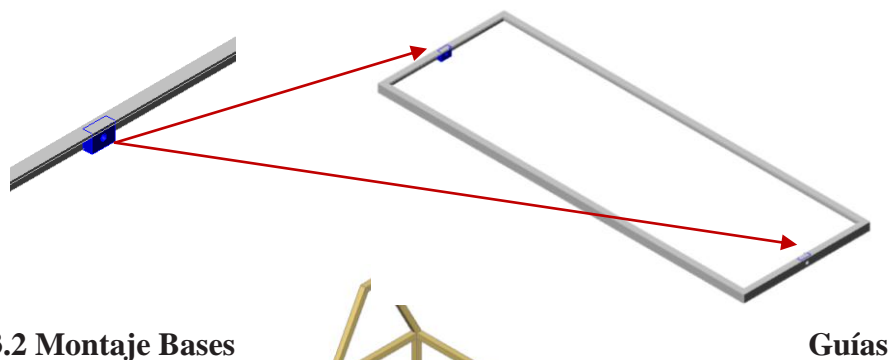


Figura 3.2 Montaje Bases

La Figura 3.3 muestra las dos los ejes correspondientes, los los ejes y las chumaceras que Los ejes tienen dos funciones como son:

- a) Soportar el peso

bases guías atravesadas por rodamientos que contienen a alojan a los rodamientos.

b) Giro libre del panel.

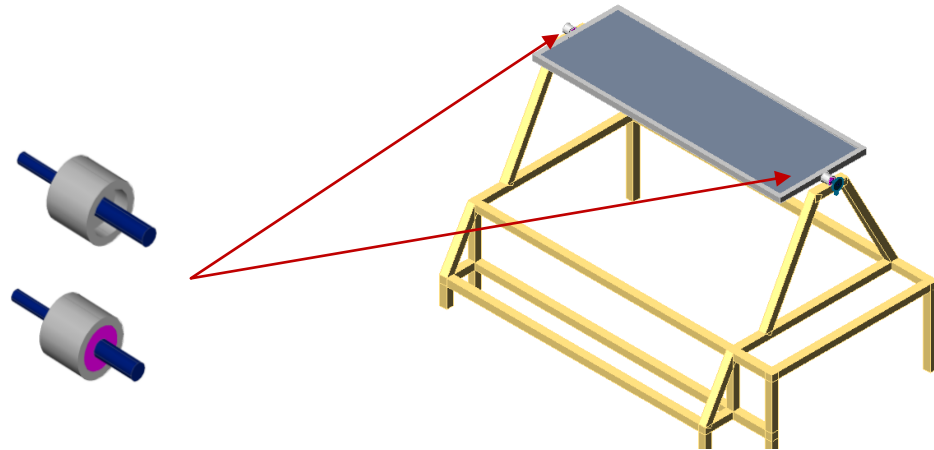


Figura 3.3 Ejes de soporte y chumaceras

Los ejes son insertados en los rodamientos de bolas, para la fijación de los rodamientos en el eje, se utilizaron seguros de exteriores a los dos extremos.

Los rodamientos en conjunto con los ejes, fueron encajados en chumaceras construidas en el mismo tipo de material que los ejes (Acero Plata K-510 de Bohler). Éstos fueron fijados por medio de soldadura a las estructuras 1 y 2 y alineados lo más exactamente posible; logrando obtener un acople óptimo que permite el libre movimiento del panel solar, tal como se muestra en la Figura 3.4.

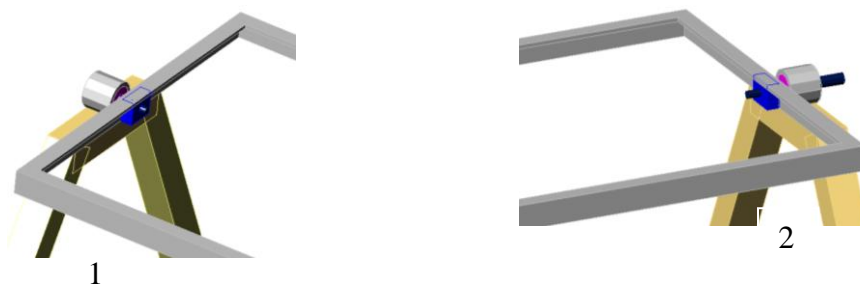


Figura 3.4 Chumaceras fijadas a las estructuras

3.2.Montaje base del motor

La base del motor se fabricó en material Acero ASTM A36K, pletina de 3/4 x 1/8 de Pulgada y fue fijada a la estructura mediante soldadura. Es necesario fijarla de esta manera para evitar que el servomotor se mueva y el juego entre los dientes de los piñones que transmiten el movimiento hacia el panel, sea el adecuado. Además se efectuaron 4 perforaciones, las mismas que servirán para la fijación del servomotor, esto se puede ver en la Figura 3.5.

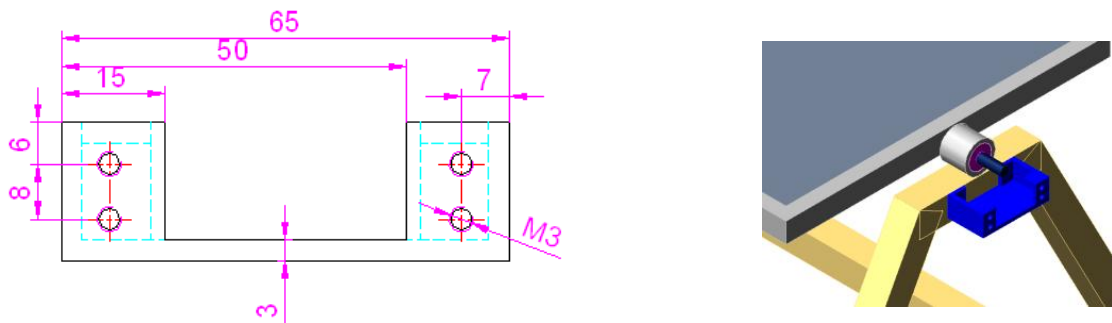


Figura 3.5 Fijación de la Base del Motor

3.3. Acoplamiento Panel - Sistema de engranajes y eje del motor

A continuación se puede observar en la Figura 3.6 todo el sistema que proporciona el movimiento del panel fotovoltaico. En primera instancia aparece el servomotor acoplado en su eje la rueda conductora de 17 dientes de módulo 1.75, esta rueda engrana con la rueda conducida de 75 dientes. El movimiento de la rueda de 75 dientes es transmitido hacia el panel fotovoltaico por medio del eje que encaja entre la rueda y la base guía, permitiendo de esta forma el libre movimiento del panel.

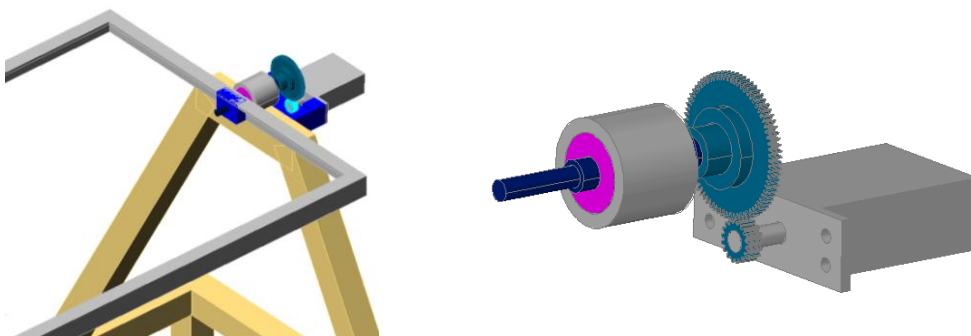


Figura 3.6 Acople Sistema de Movimiento del Panel Fotovoltaico

3.3.1. Sistema de Seguimiento Solar

El sistema de seguimiento está constituido por los fotosensores como sistema de captación, los mismos que están dispuestos en los extremos este y oeste del perfil del panel fotovoltaico, como se indica en la Figura 3.7. El elemento capaz de proporcionar la luz/sombra está basado en colocar una cobertura vertical de 6 cm de largo, con su interior pintado de negro para evitar el reflejo de luz.

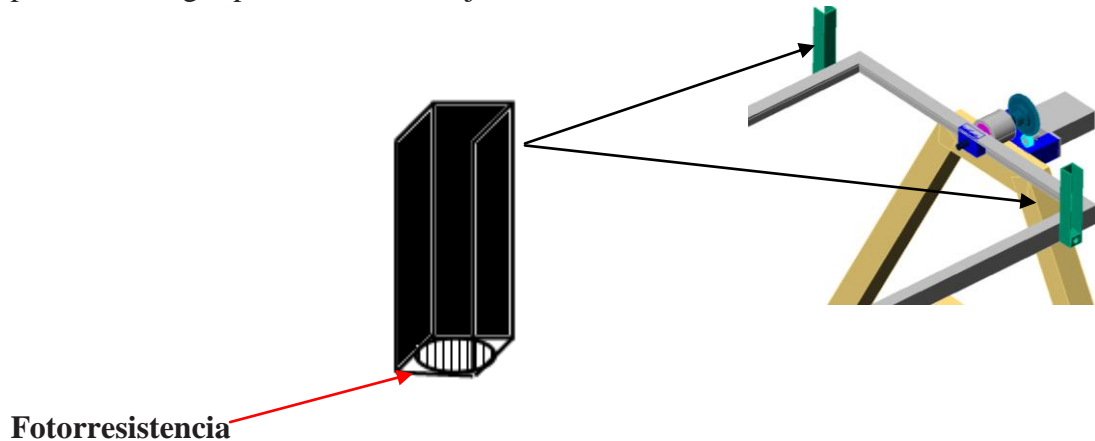


Figura 3.7 Fotosensores con placa de Luz/Sombra

En la base se encuentra la fotorresistencia que capta la luz dependiendo de la posición que se encuentre en ese instante el sol. Con esto se obtiene la información para el PIC y éste envíe la señal de movimiento al Servomotor.

3.3. Implementación del sistema de control

3.4.1. Implementación del hardware

El hardware del circuito de control está conformado por la placa de circuito electrónico que contiene:

- a. El microcontrolador con su circuito de polarización, oscilador y reinicialización.
- b. Circuito de seguimiento de luz.
- c. Circuito detector de carga de la batería.
- d. Circuito de carga de la batería.
- e. Circuito de control del servomotor.
- f. Circuito de señalización.
- g. Circuito de control del inversor.

3.4.1.1. El microcontrolador con su circuito de polarización, oscilador y Reinicialización

El circuito básico del microcontrolador está conformado por el PIC16F873, en la Figura 3.8 se tiene su polarización en los pines 20 (V_{DD}), 19 (V_{SS}), con 5V_{cc} y tierra respectivamente. El circuito consiste en un oscilador con el cristal X1 de 4 MHz conectado a los pines OSC1 (pin 9) y OSC2 (pin 10) y los condensadores C1 y C2 de 22pF, que complementan al oscilador con su conexión a tierra. Se utiliza un oscilador de cristal ya que éste garantiza mayor precisión y un buen arranque del microcontrolador ^[53]. Internamente la frecuencia es dividida para cuatro así que cada instrucción se realizará a 1 microsegundo de velocidad.

^[53] Reyes Carlos. Microcontroladores PIC Programación en Basic. 2009 Pág. 93. Tabla 5.6.2.5

El circuito de reinicialización conformado por el pulsador de reset conectado a tierra, un diodo D1, un condensador C4 y las resistencias R1 y R2, todos conectados en una configuración de generador de agujas, que evita los rebotes de las señales. Cuando se presiona el pulsador de reset, se activa a través del pin el MCRL (Master Clear) del PIC. La polarización del PIC y el resto del circuito electrónico se obtiene de la batería de almacenamiento del sistema a través de un regulador de voltaje 7805 que reduce el voltaje de alimentación de la batería (12Vcd) a 5 Vcd, esto permite que el sistema sea autónomo y que funcione incluso cuando la carga de la batería no esté en capacidad de alimentar al inversor.

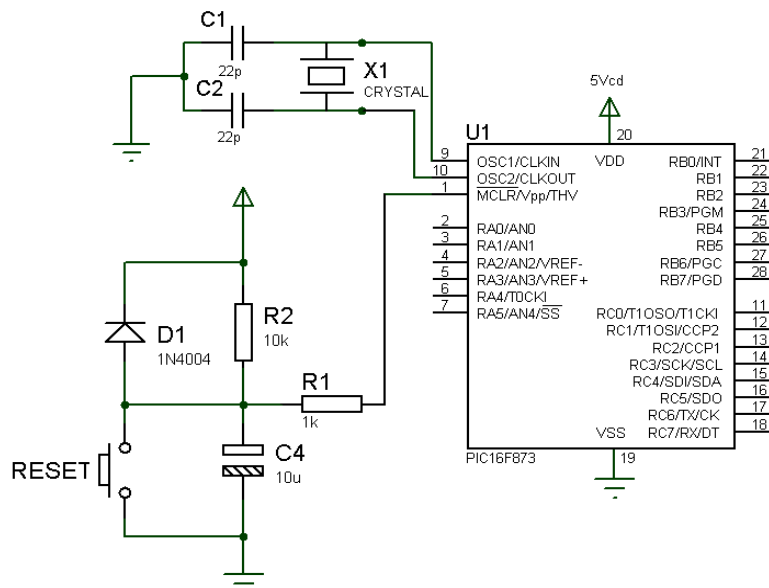


Figura 3.8 Circuito básico del PIC 16F873

3.4.1.2. Circuito del seguimiento de luz.

Está conformado por dos divisores de voltaje, el divisor de voltaje ESTE conformado por el fotorresistor ESTE y la resistencia R3 de 10K y el divisor de voltaje OESTE conformado por el fotorresistor OESTE y la resistencia R4 de 10K, estas señales se alimentan a las entradas analógicas AN0 (pin 2) y AN1 (pin 3) del PIC respectivamente. Teóricamente la variación del voltaje en la entrada del PIC puede variar de 0 a 5Vcd, sin embargo el rango es un poco menor porque el fotorresistor con ningún nivel de luz puede llegar a un valor de resistencia máximo, esto se puede observar en la Figura 3.9.

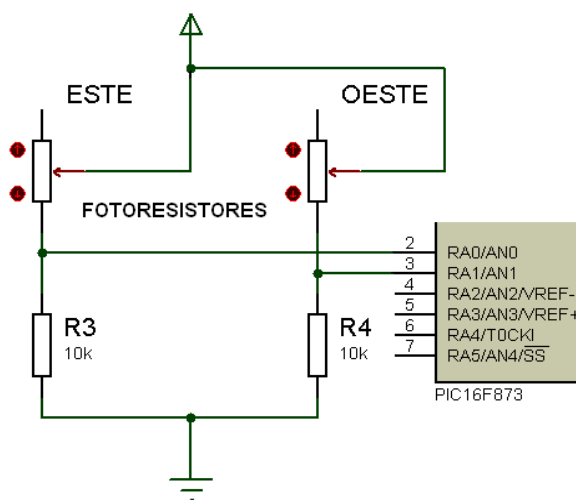


Figura 3.9 Circuito de seguimiento de luz

3.4.1.3. Circuito detector de carga de la batería.

El circuito detector de carga de la batería está conformado por un divisor de voltaje con la resistencias R5 de 10K y R6 de 2,2K como se indica en la Figura 3.10, el objetivo de este circuito es monitorear el voltaje de carga de la batería de almacenamiento, con el fin apagar la alimentación al inversor cuando el voltaje almacenado es menor al necesario para producir una salida de 110Vca. Como el PIC trabaja con voltajes máximos de 5 voltios en

sus entradas analógicas y se desea monitorear un voltaje de 11.5 voltios aproximadamente, el divisor de tensión produce una salida de:

$$V_o \text{ máx} = V_{in} \frac{R_6}{R_5 + R_6} \quad (\text{Ec.3.1})$$

$$V_o \text{ máx} = 11.5V \frac{2.2K}{10K + 2.2K}$$

$$V_o \text{ máx} = 2.06 V$$

Que es un valor de voltaje analógico manejable para ser monitoreado en el PIC.

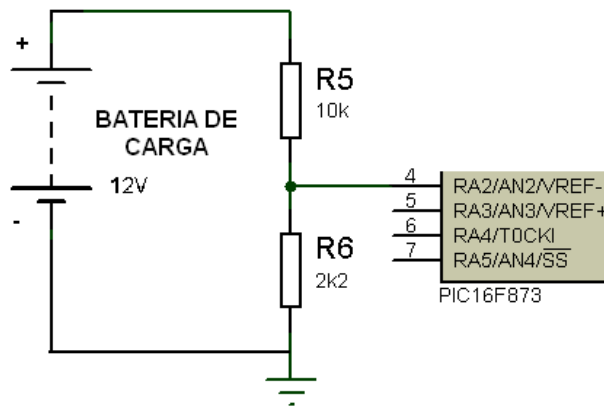


Figura 3.10 Circuito detector de carga de la batería

3.4.1.4. Circuito de carga de la batería.

Inicia con el panel fotovoltaico que genera un voltaje máximo entre 19 y 21 Vcd con un máxima intensidad de radiación solar, por lo tanto, este voltaje debe ser limitado para que no destruya los componentes de la batería de almacenamiento, para lo cual se utiliza un regulador de voltaje 7812 (Figura 3.11). Ya que la batería requiere de voltaje un poco mayor a los 12 voltios de corriente continua para obtener una carga completa, se han colocado los diodos D2, D3 y D4, en el pin de tierra del regulador, para que la salida de voltaje al final sea de 14.1 Vcd, como ya se explicó anteriormente. La resistencia RES_CARGA de 3.9K a 3 vatios en la Figura 3.11, limita la corriente que carga a la batería de modo que se pueda obtener una carga lenta que permita un periodo de vida

extendido de la misma. La potencia de la resistencia (3W) permite que se disipe el calor producido por la circulación de corriente de carga de la batería.

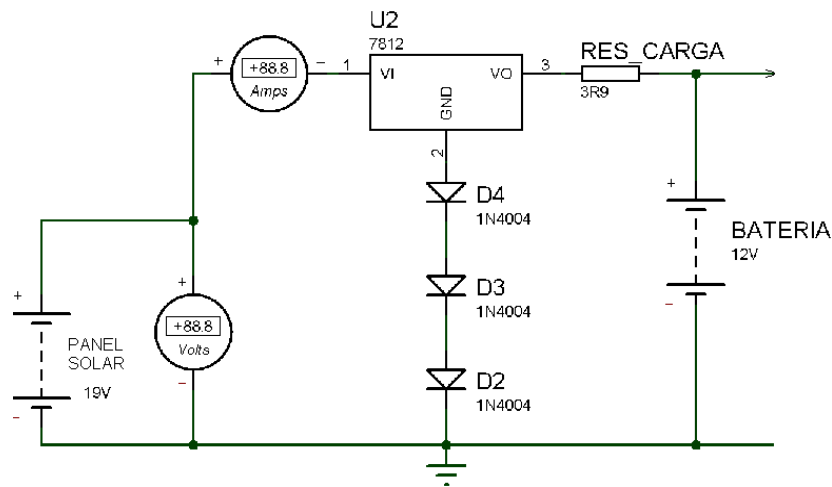


Figura 3.11 Circuito de carga de la batería

3.4.1.5. Circuito de control del servomotor.

Ha sido diseñado con un regulador de voltaje 7805 (U4) y un diodo D8 en el pin de tierra (Figura 3.12). El voltaje de alimentación se obtiene directamente de la batería de carga y el voltaje de salida es de 5,7 Vcd, necesarios para mantener un funcionamiento confiable del servomotor, que como ya se analizó requiere de 5 a 6 Vcd para su operación. El pin de control del motor es alimentado a través de de la salida RB0 del PIC la cual puede ser programada para enviar las señales de la posición del servomotor.

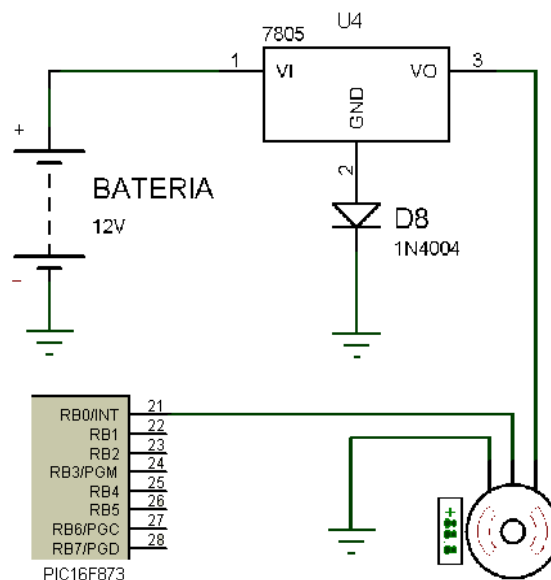


Figura 3.12 Circuito de control del servomotor

3.4.1.6. Circuito de señalización.

El circuito de señalización mostrado en la Figura 3.13, consta de un led bicolor, representado en dos leds (D5) y (D6), dependiendo de la cantidad de energía almacenada en la batería, éste cambia de color. El led (D6) cambia a color rojo conectado a través de una resistencias de 330Ω (R8), que limita la corriente hacia el mismo, y conectada a la salida digital RC2 (pin 13) del PIC, este led se enciende para indicar que no existe suficiente luz para que el panel fotovoltaico cargue la batería; el led (D5) cambia a color verde, conectado a través de una resistencias de 330Ω (R7), que limita la corriente hacia el mismo, y conectada a la salida digital RC3 (pin 14) del PIC, este led se enciende para indicar que existe suficiente energía almacenada en la batería por lo que el circuito inversor está proveyendo voltaje alterno a la carga. Las resistencias R7 y R8 se calculan para que la corriente que circule por los leds sea de 15mA, considerando que su máxima corriente de operación es de 20mA, esto permitirá mantener un bajo consumo de energía, el cálculo es el siguiente:

$$R7 = \frac{V_{in}}{I_{opr}} \quad (\text{Ec.3.2})$$

$$R7 = \frac{5V}{15mA} = 331\Omega$$

Que en valor estandarizado es 330Ω .

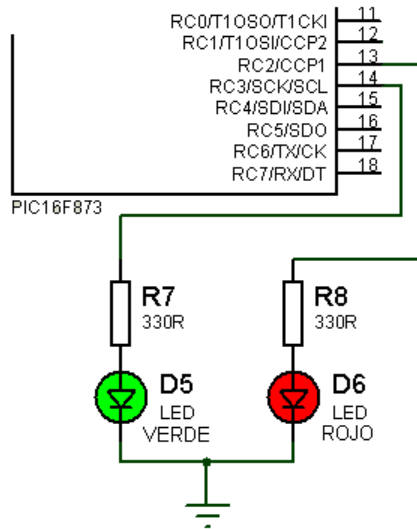


Figura 3.13 Circuito de señalización

3.4.1.7. Circuito de control del inversor.

El circuito de control de inversor está conformado por un relé de 12 Vcd (RL1) según se indica en la Figura 3.14, cuya bobina es alimentada directamente de la batería de almacenamiento y es controlada por el transistor MOSFET IRF620 (Q1). Dicho transistor funciona como un interruptor y recibe la señal de control en su gate (G), a través de una resistencia de 30Ω (R9) desde la salida digital RC1 (pin 12) del PIC. Aunque el disparo de los transistores MOSFET es controlado por voltaje, por seguridad se conectó R9 en su base para dar estabilidad y reducir el ruido en el sistema cuando se abren o cierran los contactos del relé.

Se eligió este transistor por recomendación en diseño electrónico, por tres aspectos, velocidad de operación, su poca sensibilidad al ruido eléctrico y porque el MOSFET Canal N requiere de un voltaje de compuerta para polarizar directamente sus pines de Drenaje y Fuente para entrar en conducción, condición que es necesaria en este circuito; sus características de funcionamiento (datasheet) se pueden observar en el ANEXO D.

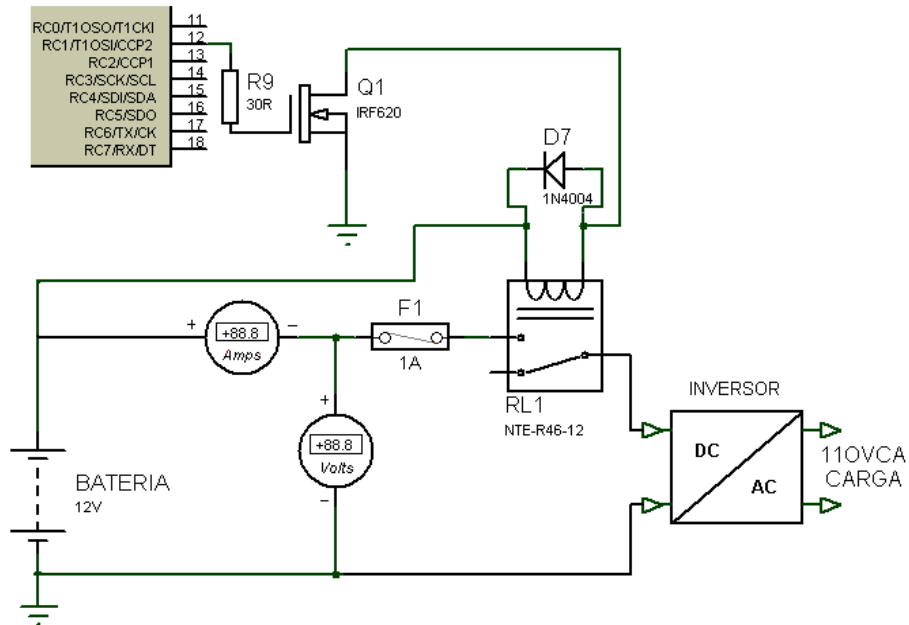


Figura 3.14 Circuito de control del inversor

El diodo D7 conectado en paralelo a la bobina del relé protege al transistor de corrientes inversas que pueden ser generadas por la corriente circulante en el relé al momento de su apagado. Un contacto normalmente abierto del relé se encuentra conectado en serie con la batería de almacenamiento y el circuito de entrada del inversor de voltaje, éste permite al PIC controlar la alimentación de corriente continua al inversor, solamente cuando la batería dispone de la energía necesaria para alimentar la carga final. El inversor de voltaje que fue adquirido en una marca comercial, finalmente se encarga de convertir la corriente continua de 12Vcd a corriente alterna de 110Vca, que permitirá alimentar lámparas o equipos eléctricos que no excedan de una carga de 50 vatios.

A continuación se presenta en la Figura 3.15 el Diagrama de Control de todo el sistema.

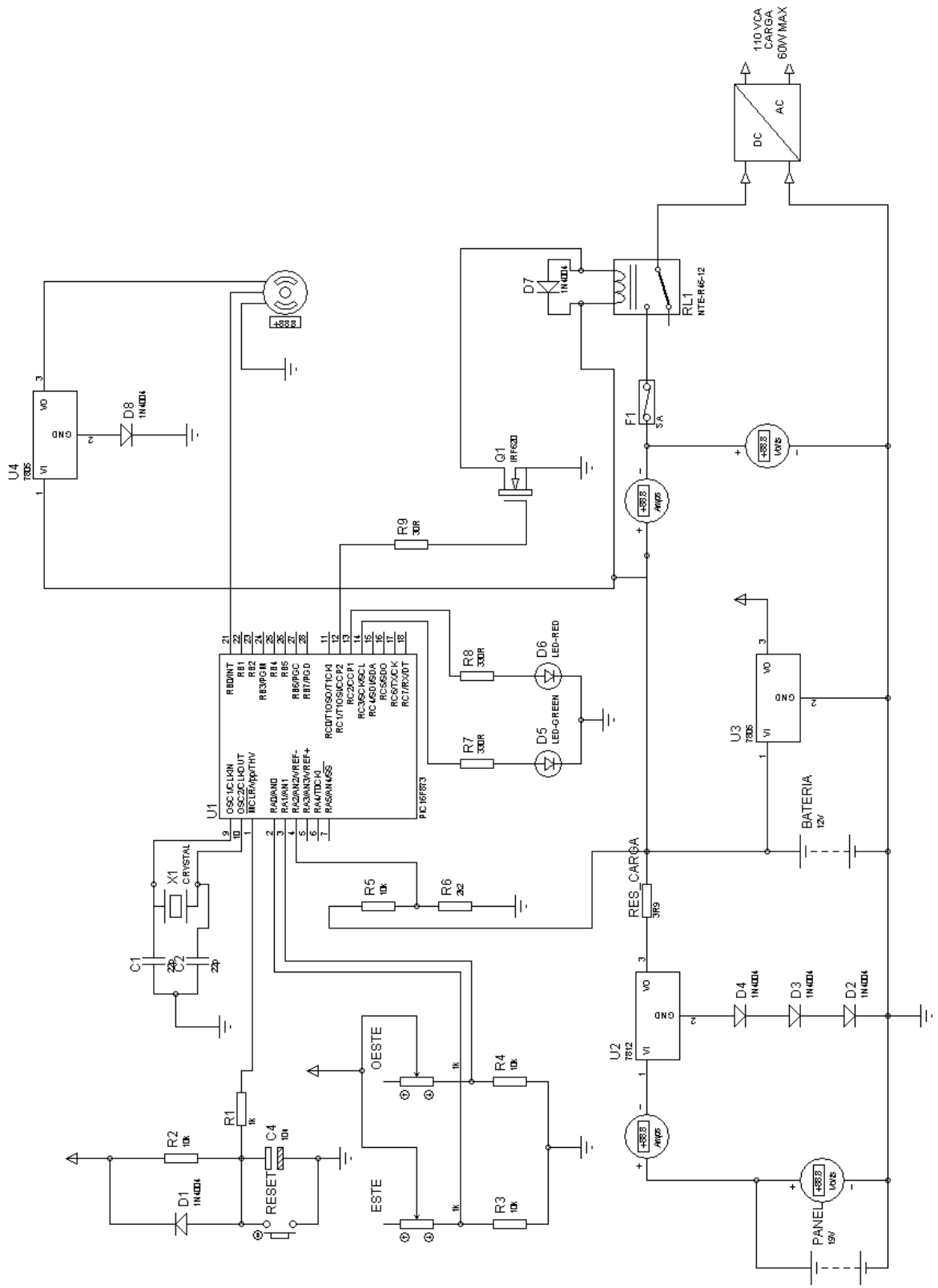


Figura 3.15 Circuito de control del Sistema de Generación Fotovoltaica

3.4.2. Implementación del software.

El software de control de generador fotovoltaico para el microcontrolador PIC 16F873 contiene como primera parte la inicialización de variables, dentro de ésta se encuentra: definición de la velocidad del oscilador, la inicialización de los conversores analógico/digital, establecer los bits de los puertos como entradas o salidas, declaración de variables como bits, bytes (8 bits), words (16 bits), de acuerdo a las funciones que van a realizar, valores iniciales de ciertas variables y constantes.

El programa ha sido diseñado como se observa en la Figura 3.16, el diagrama de flujo comienza con la inicialización de variables explicado anteriormente, a continuación posee una pausa de medio segundo, después se define la subrutina inversor y la subrutina buscar, los cuales conforman el lazo cerrado de control. La pausa de medio segundo evita que se produzcan cambios muy continuos en la posición del panel solar.

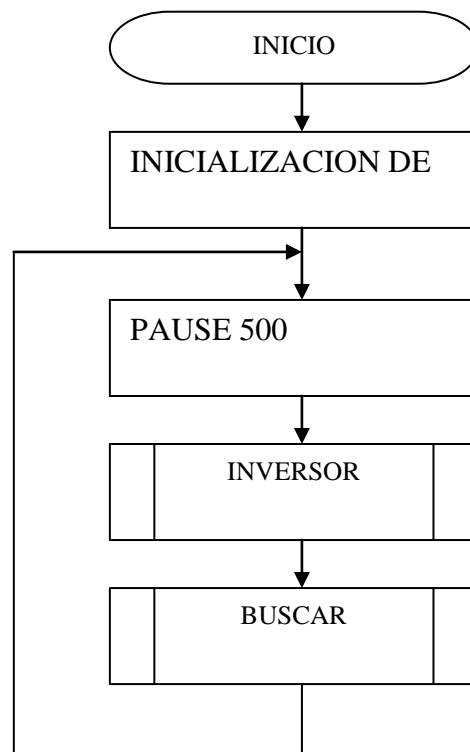


Figura 3.16 Diagrama de Flujo Simplificado

La subrutina INVERSOR controla la salida de corriente alterna del circuito inversor, en éste se asegura que la batería tenga carga suficiente (por lo menos 11 voltios), para permitir el funcionamiento del generador fotovoltaico; caso contrario, si la batería está descargada, desconecta el circuito inversor para proteger la carga y a sí mismo.

La conversión de la señal analógica del voltaje de carga de la batería a dato digital corresponde a la Tabla 3.1.

VALOR	V BATERÍA (V)	V _{in} (PORTA.2) (V)	PALABRA DIGITAL
MAXIMO	14	2.32	119
MINIMO	11.4	1.98	105

Tabla 3.1 Carga de la Batería en Valores de Palabra Digital Interpretados por el Microcontrolador

El diagrama de flujo se indica en la Figura 3.17

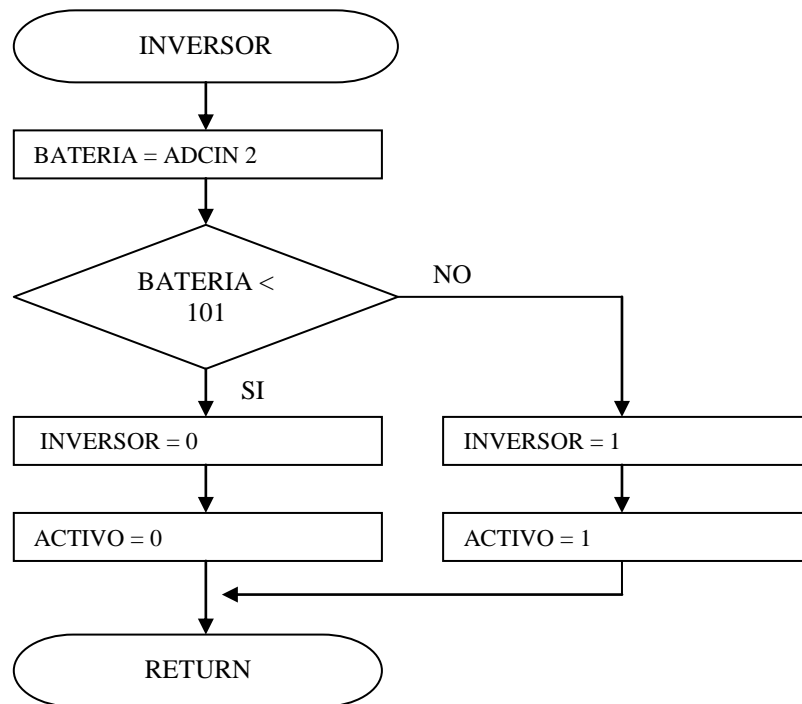


Figura 3.17 Diagrama Subrutina Inversor

La subrutina BUSCAR lee los datos de los ADC “este” y “oeste” y determina en qué dirección debe girar el servomotor para tener la mejor recepción de luz, además, en caso de detectar que existe muy poca luz (noche) se mantiene en espera, e inicializa el panel a la posición en que reciba mayor cantidad de luz solar. También realiza el control de los leds, el led verde se enciende para indicar que el inversor está en capacidad de proveer corriente alterna; el led rojo titila para indicar que no existe suficiente luz para cargar la batería, por lo tanto permanecerá titilando en la noche.

En la Figura 3.18, se observa el diagrama de flujo de la subrutina BUSCAR, los datos analógicos de los fotorresistores se almacenan en forma digital en las variables DATOS (ESTE) y DATOS1 (OESTE), de 8 bits, que posteriormente son comparados con la variable VALOR_MINIMO, cuyo valor es 97, este valor representa la mínima cantidad de luz que puede recibir el panel para producir un voltaje en su salida que permita cargar la batería, se lo obtuvo mediante pruebas experimentales con el panel fotovoltaico. La Tabla 3.2 muestra los valores obtenidos para determinar la posición del panel:

NIVEL DE LUZ	FOTORRESISTENCIA (Ω)	V_{in} (V)	PALABRA DIGITAL
NOCHE	60K	0.7	36
AMANECER / ANOCHECER	16K	1.91	97
MEDIO DIA SOLEADO	10 Ω	5	255

Tabla 3.2 Incidencia de luz en Valores de Voltaje Transformados a Palabra Digital

Si uno de los datos es menor a 97, el controlador considera que no existe suficiente luz e inicializa el panel a la posición ESTE. Si existe suficiente luz, el sistema compara cual de los dos datos es mayor, si la diferencia es mayor a 10, producirá un incremento de un grado en la posición del panel, hacia el lado que está recibiendo mayor incidencia de luz en ese momento, si la diferencia es menor a 10, considera que la diferencia de luz entre los dos fotorresistores no es significativa y mantiene el panel en la misma posición.

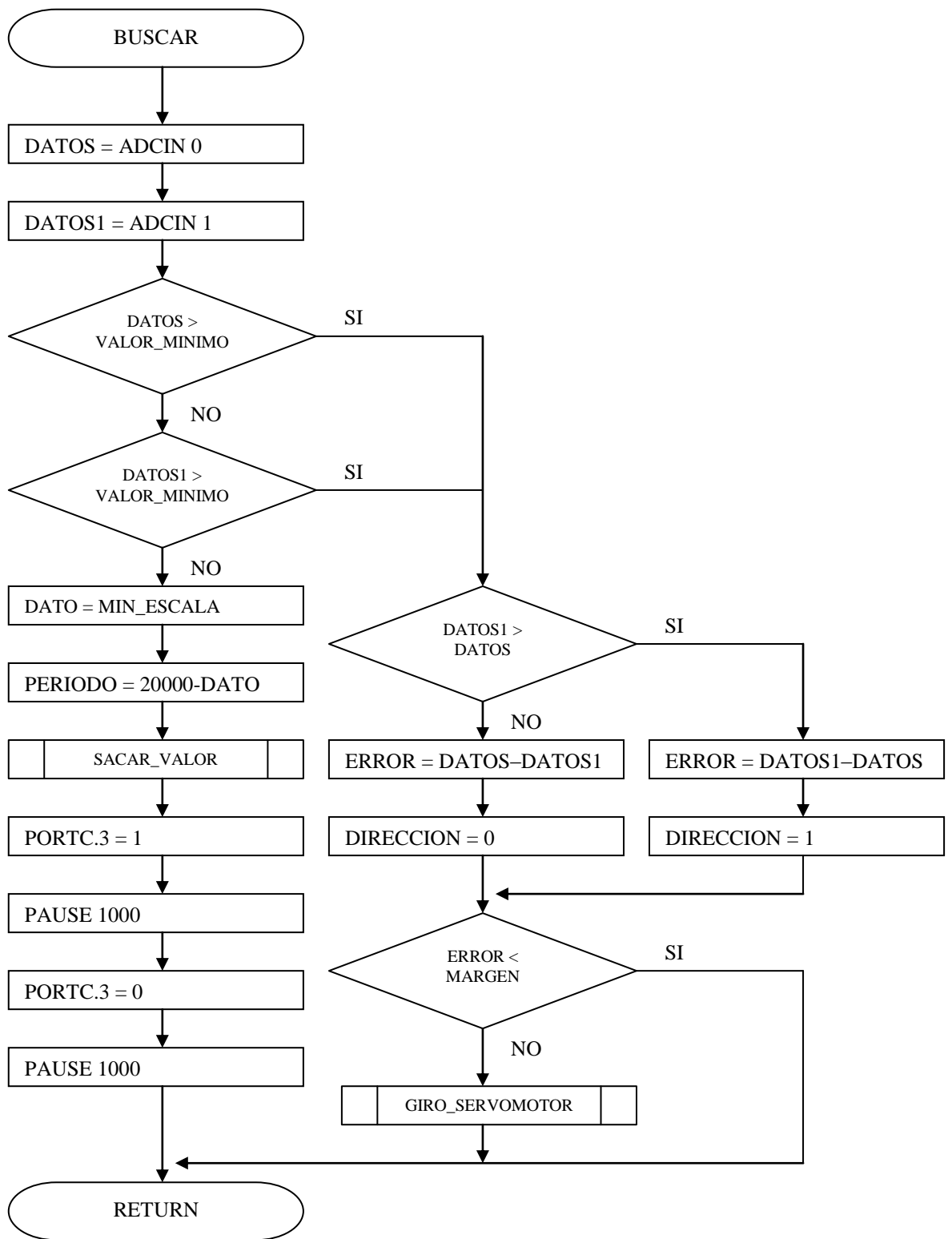


Figura 3.18 Subrutina BUSCAR

Dentro de la subrutina BUSCAR, existen dos subrutinas adicionales: SACAR_VALOR y GIRO_SERVOMOTOR.

La subrutina GIRO_SERVOMOTOR, toma el dato de la variable DIRECCION que puede ser cero o uno, en caso de ser cero, realiza los cálculos necesarios para girar el panel hacia el ESTE un grado; si es igual a uno, realiza los cálculos necesarios para girar el panel un grado hacia el OESTE. La variable DATO contiene el valor de la posición actual del panel, este valor puede variar entre 295 (≈ 300) y 2300 que son los datos de las posiciones máximas que puede moverse el panel. La Figura 3.19 muestra las variables y valores que utiliza el programa para generar el pulso PWM que controla la posición del motor.

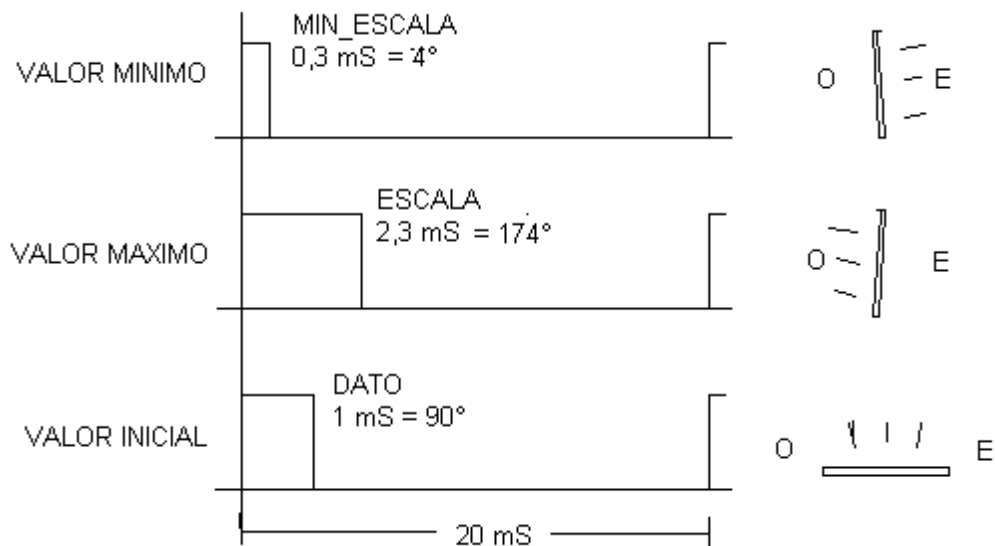


Figura 3.19 Generación del pulso PWM

El software que controla la posición del panel (Figura 3.20), permite que éste pueda moverse un máximo de 87° hacia el ESTE y 87° hacia el OESTE, tomando como referencia su posición al medio día (posición horizontal). La variable MIN_ESCALA, cuyo valor es 295, representa la mínima apertura del pulso PWM que coloca al panel en su posición inicial en el ESTE. La variable ESCALA, cuyo valor es 2300, representa el máximo ancho de pulso PWM, el mismo que colocará al panel en su máxima posición al OESTE. Un valor de 1000 en DATO, colocará al panel en posición horizontal, ya que el periodo del pulso PWM es constante de 20ms (milisegundos), cada vez que se genera un valor de DATO, el mismo que determina el tiempo en alto del pulso, también es

necesario calcular el tiempo en bajo para completar nuevamente los 20ms. Una vez que ha finalizado este cálculo, el programa llama a la subrutina SACAR_VALOR. Todos los datos de las variables indicadas están dados en microsegundos, debido a que el programa del PIC no acepta demoras en milisegundos.

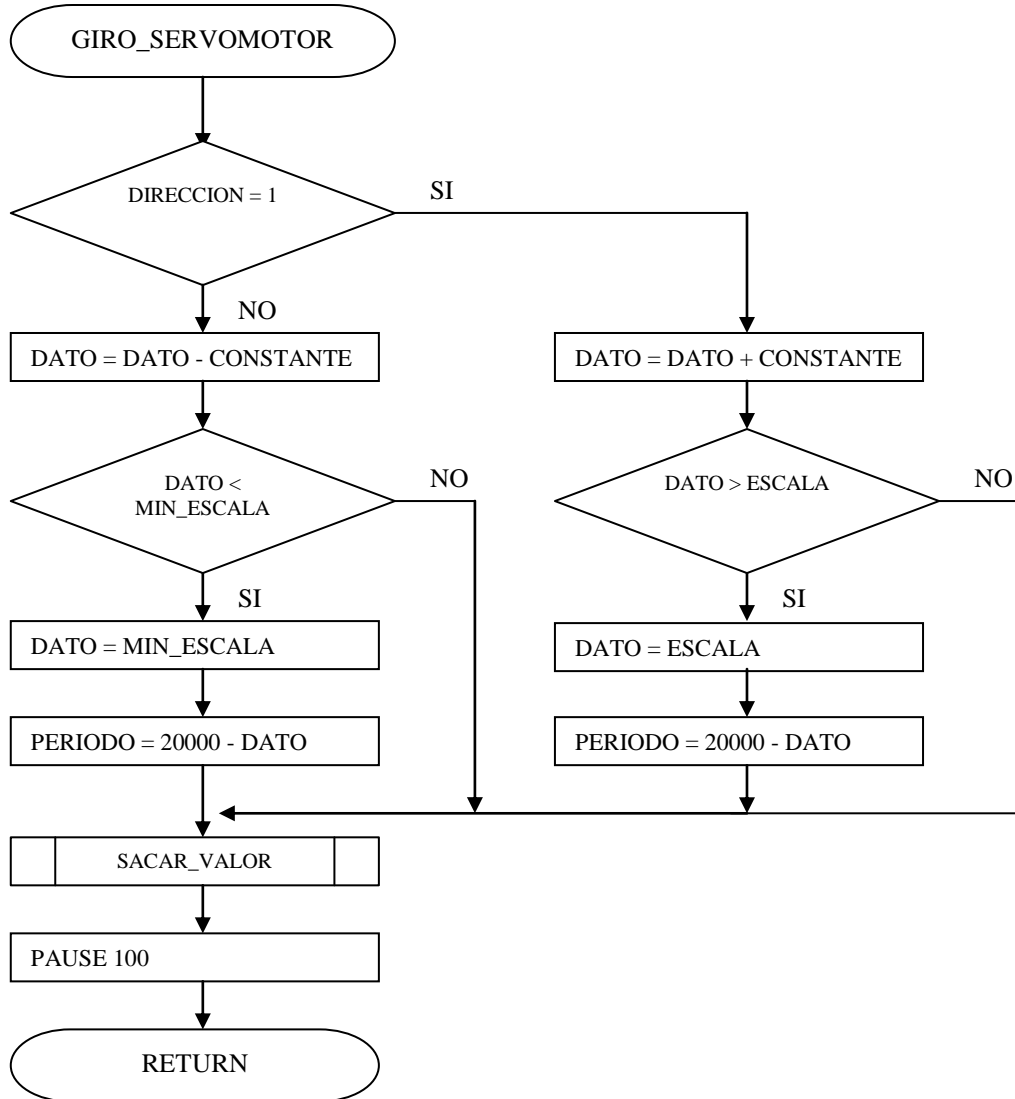


Figura 3.20 Subrutina GIRO SERVOMOTOR

Una vez diseñado el diagrama del flujo para el control del generador fotovoltaico, se procede a escribir el programa en PIC BASIC y posteriormente será compilado para grabar el programa final en el microcontrolador.

El programa es el siguiente:

* Name : SOLAR.BAS
* Author : Tello Alexander
* Notice : Copyright (c) 2009
* : All Rights Reserved
* Date : 11/02/2009
* Version : 1.0
* Notes :

'DEFINICION DE VARIABLES

DEFINE OSC 4 'TRABAJO CON OSCILADOR DE 4MHZ
DEFINE ADC_BITS 8 'NUMERO DE BITS DE LOS ADC = 8
DEFINE ADC_CLOCK 3
DEFINE ADC_SAMPLEUS 50
ADCON1=%00000010 'BITS PUERTO A: A.0 A.1 A.2 COMO ENTRADAS
ANALOGICAS
TRISA=%11111111 'ASIGNA TODOS LOS BITS DE PORT.A COMO ENTRADAS
TRISB=%11111110 'BIT PORTB.O COMO SALIDA
TRISC=%11110001 'BIT PORT. C1, C2, C3 COMO SALIDAS

DATOS VAR BYTE 'FOTORESISTOR ESTE
DATOS1 VAR BYTE 'FOTORESISTOR OESTE
ERROR VAR BYTE 'DIFERENCIA ENTRE ESTE Y OESTE
MARGEN VAR BYTE 'MARGEN DE ERROR MINIMO
DIRECCION VAR BIT 'SENTIDO DE GIRO 1=OESTE, 0=ESTE
P_INICIAL VAR PORTC.0
P_FINAL VAR PORTC.1
A VAR BYTE
VALOR_MINIMO VAR BYTE
VALOR_MINIMO = 97 'VALOR MÍNIMO DE VOLTAJE PARA FUNCIONAR
MARGEN = 10 'MINIMO CAMBIO DE LUZ QUE MUEVE EL PANEL
AD VAR BYTE 'NUMERO DE PULSOS PWM POR CICLO

```

ESCALA VAR word      'ANCHO MAXIMO DEL PULSO PWM
CONSTANTE VAR WORD   'VALOR NECESARIO PARA PRODUCIR UN CAMBIO DE 1°
RESTO VAR WORD
DATO VAR WORD        'TIEMPO EN ALTO DEL PULSO PWM
PERIODO VAR WORD     'TIEMPO EN BAJO DEL PULSO PWM
PERIODO_1 VAR WORD
MIN_ESCALA VAR WORD  'MINIMA APERTURA DEL PULSO
MOTOR VAR PORTB.0    'BIT PORTB.0 SE DENOMINA MOTOR
MIN_ESCALA = 295     'MÍNIMA APERTURA DE PULSO
ESCALA = 2300        'MÁXIMA APERTURA DE PULSO
DATO = 1297          'VALOR MINIMO DE APERTURA DE PULSO
CONSTANTE = 12       'SON LOS GRADOS QUE SALTA 12 = 1°
PERIODO = 20000      'PERIODO QUE DEMORA EN DAR LAS SEÑALES
PERIODO = PERIODO - DATO  'TIEMPO EN BAJO = PERIODO (20ms) - TIEMPO EN
ALTO

```

'LAZO DE CONTROL PRINCIPAL

INICIO:

```

PAUSE 500           'PAUSA MEDIO SEGUNDO
GOSUB BUSCAR        'LLAMADO A SUBROUTINA BUSCAR
GOTO INICIO         'CIERRA EL LAZO DE CONTROL

```

'SUBROUTINA BUSCAR

'BUSCA EL ANGULO DE MAYOR LUZ

BUSCAR:

```

ADCIN 0, DATOS      'LEE FOTORESISTOR ESTE
ADCIN 1, DATOS1     'LEE FOTORESISTOR OESTE
IF (DATOS > VALOR_MINIMO) OR (DATOS1 > VALOR_MINIMO) THEN  'SI EXISTE
SUFICIENTE LUZ EN UNO DE LOS DOS SENSORES
  IF DATOS1 > DATOS THEN  'SI LUZ ESTE > LUZ OESTE
    ERROR = DATOS1 - DATOS  'DIFERENCIA ESTE - OESTE
  ELSE
    ERROR = DATOS - DATOS1  'DIFERENCIA OESTE - ESTE
  ENDIF
IF ERROR < MARGEN THEN  'SI ERROR ES MENOR A MARGEN DE ERROR

```

```

    GOTO BUSCAR          'BUSCA EL ANGULO DE MAYOR LUZ
ELSE
    IF DATOS1 > DATOS THEN
        DIRECCION = 1    'DIRECCION DE GIRO OESTE
    ELSE
        DIRECCION = 0    'DIRECCION DE GIRO ESTE
    ENDIF
ENDIF
GOSUB GIRO_MOTOR_A_PASOS    'VAYA A GIRAR EL SERVOMOTOR

ELSE
    DATO = MIN_ESCALA      'TIEMPO EN ALTO MINIMO, PANEL AL ESTE
    PERIODO = 20000 - DATO  'CALCULA TIEMPO EN BAJO
    GOSUB SACAR_VALOR      'VAYA A MOVER EL PANEL
    'SLEEP 3600
    HIGH PORTB.1           'ENCENDER LED ROJO
    PAUSE 1000             'PAUSA 1 SEGUNDO
    LOW PORTB.1            'APAGAR LED ROJO
    PAUSE 1000             'PAUSA 1 SEGUNDO
    GOTO BUSCAR
ENDIF
GOTO BUSCAR

'SUBROUTINA SERVOMOTOR
'GIRA EL SERVOMOTOR DE GRADO EN GRADO

GIRO_MOTOR_A_PASOS:      'VAYA A GIRAR EL SERVOMOTOR
    IF DIRECCION = 1 THEN  'SI DIRECCION = OESTE
        DATO = DATO + CONSTANTE    'INCREMENTAR ANCHO DE PULSO 1° (12uS)
        if DATO > ESCALA THEN DATO = ESCALA    'ANCHO DE PULSO = ANCHO DE
PULSO MAXIMO
        PERIODO = 20000 - DATO    'CALCULA TIEMPO EN BAJO
        GOSUB SACAR_VALOR        'LLAMA SUBROUTINA SACAR_VALOR
        GOSUB TIEMPO
    ELSE

```

```

    DATO = DATO - CONSTANTE      'DECREMENTAR ANCHO DE PULSO 1° (12uS)
    If DATO < MIN_ESCALA THEN DATO = MIN_ESCALA  'ANCHO DE PULSO =
ANCHO DE PULSO MINIMO
    PERIODO = 20000 - DATO      'CALCULA TIEMPO EN BAJO
    GOSUB SACAR_VALOR          'LLAMA SUBROUTINA SACAR_VALOR
    GOSUB TIEMPO              'VAYA A SUBROUTINA TIEMPO EN uS
    ENDIF
RETURN

```

'SUBROUTINA SACAR_VALOR

'ENVIA LOS PULSOS PWM AL MOTOR PARA CAMBIAR SU POSICION

SACAR_VALOR:

```

    FOR AD = 1 TO 2
    HIGH MOTOR                'SALIDA EN ALTO
    PAUSEus DATO              'TIEMPO EN ALTO DEL PULSO PWM EN uS
    LOW MOTOR                 'SALIDA EN BAJO
    PAUSEUS PERIODO          'TIEMPO EN BAJO DEL PULSO PWM EN uS
    NEXT
    RETURN

```

TIEMPO:

```

    PAUSE 100
    RETURN

```

END

3.5. Ubicación de la batería y elementos de visualización.

3.5.1 Ubicación de la batería

La batería se encuentra ubicada y fijada en la base del equipo, ésta se encuentra por debajo de la placa donde se encuentran montados los elementos de medición y visualización, tal como se muestra en la Figura 3.21.



Figura 3.21 Disposición de la Batería

3.5.2. Elementos de Visualización y Medición

En la parte frontal del equipo, se encuentra dispuesta una placa confeccionada en Tol de 1/8 de pulgada de espesor, y en ésta se encuentran montados los dispositivos de medición y control, se observa de mejor manera en la Figura 3.22.

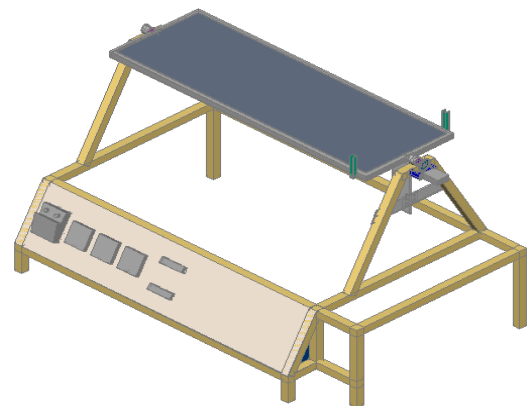


Figura 3.22 Montaje de la Placa Soporte de Dispositivos

En la Figura 3.23 se identifican cada uno de los dispositivos que van montados y conectados en la placa frontal del equipo.

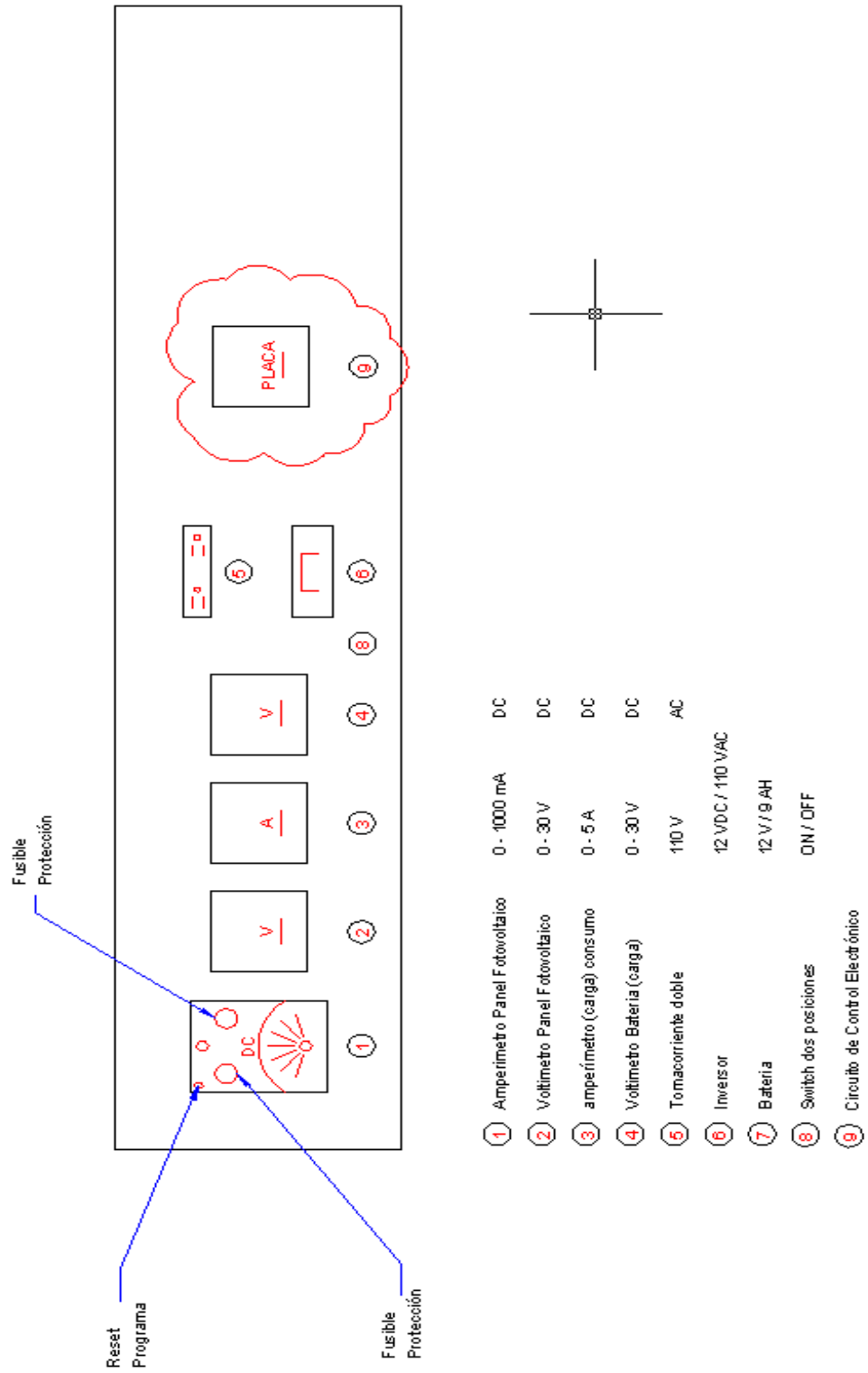


Figura 3.23 Montaje de Dispositivos de Medición y Visualización

Donde:

1. Un Amperímetro, que mide la corriente de carga del Panel Fotovoltaico de 0 a 1000 mA. En la misma base del amperímetro se encuentran conectados dos porta fusibles de 3 A, los mismos que sirven para protección del sistema y de la carga. Además se tiene un botón de reset para el programa del PIC, éste se encuentra ubicado en la parte superior izquierda de la cubierta de amperímetro.
2. Un voltímetro de 0 a 30 VDC que mide el Voltaje del Panel Fotovoltaico bajo la incidencia de los rayos solares.
3. Un Amperímetro DC de 0 a 5 A, que mide la corriente de consumo de la batería, que se tiene por efecto de la carga conectada.
4. Voltímetro de 0 a 30 Vdc que mide el Voltaje de batería.
5. Tomacorriente doble para corriente alterna, este se encuentra conectado en paralelo con la salida de 110 (V ac) del Inversor.
6. Inversor de 12 Vdc a 110 Vac, con una potencia de salida de 60 W
7. Batería de 12Vdc – 9Ah. Cumple dos funciones, captar la energía Fotovoltaica y alimentar a los circuitos de control y carga.
8. Switch de dos posiciones ON/OFF para abrir y cerrar el circuito de alimentación de todo el sistema.
9. Placa electrónica, diseñada para el control de todo el equipo. Se encuentra montada en la parte posterior de la placa frontal y aislada con respecto al equipo, ésta se muestra en la Figura 3.24.

En la Figura 3.25 se puede observar que los Voltímetros y Amperímetros fueron fijados con pernos M3 x 30 mm, y en todo el cableado de conexión de los instrumentos de medición se utilizó cable flexible No. 14 AWG.

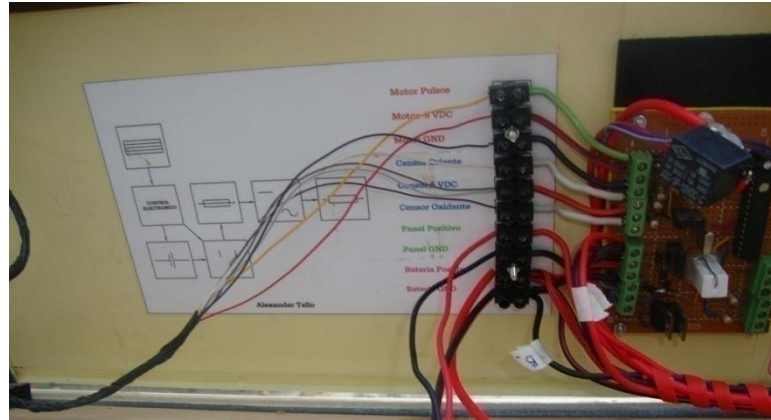


Figura 3.24 Placa Circuito de Control Electrónico



Figura 3.25 Fijación y Cableado de Dispositivos

CAPÍTULO IV

PRUEBAS Y RESULTADOS

Una vez concluida la implementación de todo el equipo, se procede a efectuar cada una de las pruebas que ayudarán a determinar el perfecto funcionamiento del sistema.

4.1 Condiciones de operación y funcionamiento sin seguimiento

Antes de efectuar las pruebas con todo el sistema acoplado, se procedió a realizar algunas mediciones correspondientes al funcionamiento del panel solar. Estas mediciones ayudarán a determinar en el respectivo análisis de resultados, la diferencia que existe en la captación de Energía Solar de un sistema fijo con respecto a un sistema con seguimiento.

4.1.1. Pruebas del Panel Fotovoltaico fijo

En la Figura 4.1 se puede observar que el panel solar tiene una inclinación aproximada de 15° en dirección Sur-Norte, simulando que se encuentra ubicado fijamente en el techo de una vivienda.



Figura 4.1 Panel Solar Inclinado

Las mediciones se efectuaron en días y condiciones climáticas diferentes, con cielo despejado, nublado y variado. Los valores de Voltaje en terminales (Voc) y Corriente de Cortocircuito (Ioc) del panel, se miden con intervalos de 15 min., con el fin de determinar las variaciones que se presentan cuando ocurre un cambio en la Incidencia de Radiación Solar. En la Tabla 4.1 se indican los valores de las medidas realizadas, las mismas que se obtuvieron con un multímetro marca FLUKE 87 IV.

HORA	CIELO DESPEJADO 07/01/2008		CIELO VARIADO 08/01/2008		CIELO NUBLADO 10/01/2008	
	Voc (V)	Ioc (A)	Voc (V)	Ioc (A)	Voc (V)	Ioc (A)
10:00	20.09	0.56	19.97	0.23	17.79	0.38
10:15	21.01	0.68	20.20	0.24	18.71	0.51
10:30	20.88	0.74	20.60	0.68	18.58	0.56
10:45	20.58	0.86	20.52	0.86	18.28	0.68
11:00	20.97	0.86	20.86	0.86	18.67	0.63
11:15	21.39	0.92	19.96	0.30	19.09	0.54
11:30	21.14	0.84	20.41	0.50	18.84	0.66
11:45	21.34	0.88	20.96	0.85	18.45	0.70
12:00	21.45	0.98	20.88	0.86	18.84	0.72
12:15	21.34	0.95	20.43	0.71	19.04	0.75
12:30	21.17	0.96	20.28	0.40	18.87	0.78
12:45	21.31	0.95	20.64	0.84	19.01	0.77
13:00	21.36	0.93	19.58	0.68	18.86	0.75
13:15	21.18	0.95	20.36	0.63	17.91	0.77
13:30	20.83	0.93	20.06	0.35	18.23	0.75
13:45	20.69	0.92	19.36	0.50	18.39	0.74
14:00	21.34	0.88	19.60	0.33	19.04	0.70
14:15	21.16	0.90	21.00	0.74	18.86	0.72
14:30	20.95	0.87	21.05	0.92	18.65	0.69
14:45	21.01	0.84	20.46	0.54	18.71	0.66
15:00	20.73	0.78	19.38	0.38	18.43	0.60
15:15	20.64	0.60	21.05	0.62	18.34	0.42
15:30	20.42	0.53	21.05	0.82	18.12	0.33
15:45	20.35	0.53	20.81	0.83	18.05	0.35
16:00	20.04	0.43	19.30	0.28	17.74	0.25
16:15	20.51	0.36	20.85	0.52	18.21	0.18
16:30	20.23	0.24	20.98	0.64	17.93	0.10
16:45	20.08	0.23	20.46	0.34	17.78	0.10
17:00	20.02	0.20	19.85	0.23	17.72	0.08

Tabla 4.1 Voltajes y Corrientes Generados por el Panel Por Incidencia de Luz Solar

En las Figuras 4.2 y 4.3 se indican gráficamente las variaciones y diferencias existentes en la generación de Voltaje y Corriente debido a la Incidencia Radiación de luz solar.

Las curvas de voltaje mostradas en la Figura 4.2, indican que la mayor Incidencia de Radiación Solar se tiene con cielo despejado, obteniendo como resultado que el voltaje generado es más alto y estable. Además se puede indicar que a pesar de tener cielo nublado o variado, siempre se captará la energía proveniente del sol, pero en menor eficiencia.

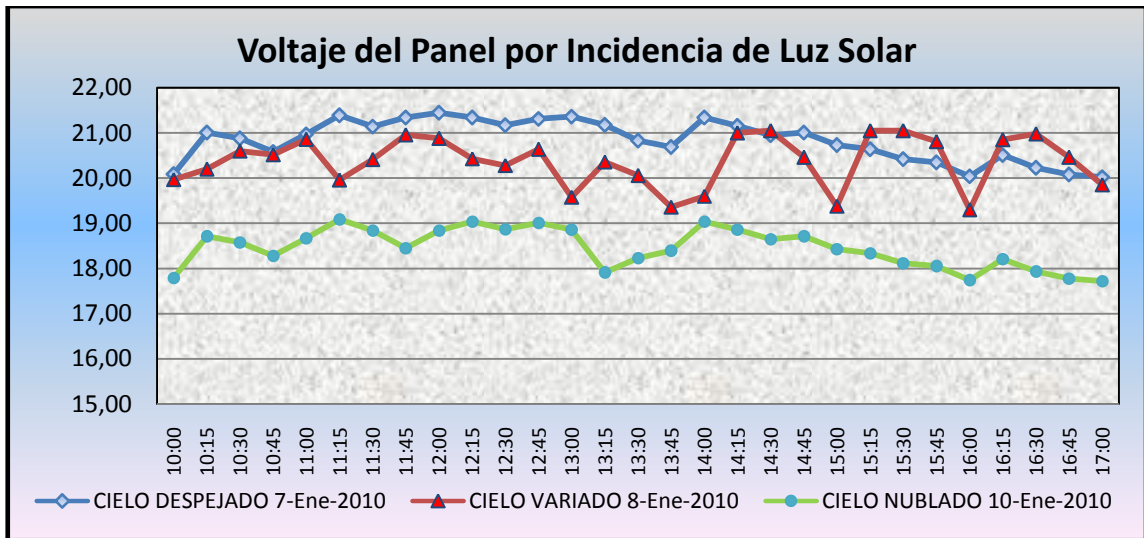


Figura 4.2 Voltaje generado por el panel con Fuente Luminosa Solar

En la Figura 4.3 se muestran las curvas correspondientes a la Corriente máxima que puede generar el Panel, tomando como referencia las curvas de voltaje, se debe mencionar que la corriente es directamente proporcional al Voltaje, es decir a mayor Voltaje se tiene una mayor Corriente, obteniéndose como resultado una mayor cantidad de energía.

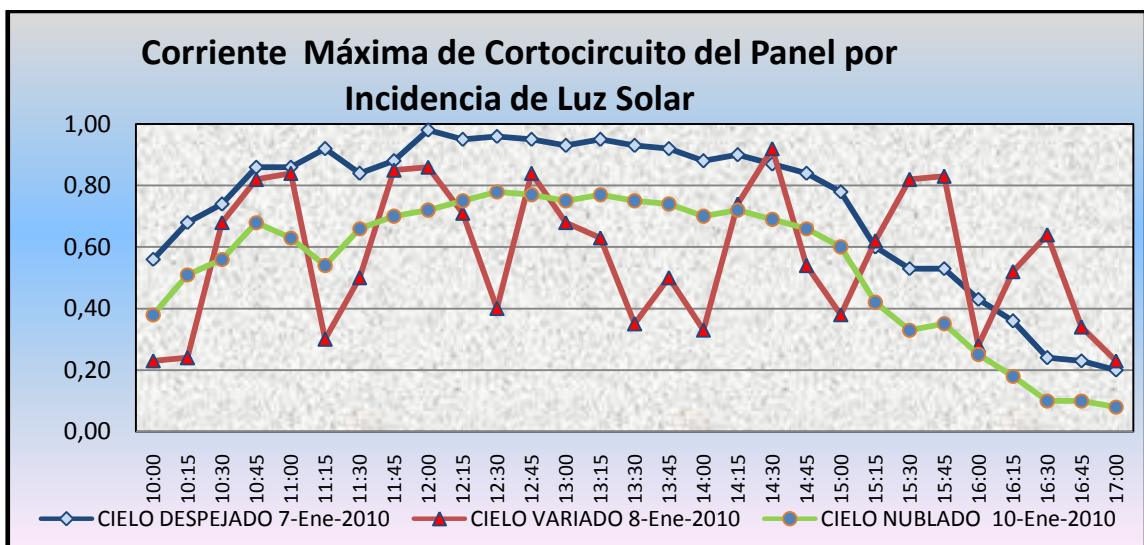


Figura 4.3 Corriente generada por el panel con Fuente Luminosa Solar

4.1.2. Prueba del Sistema acoplado sin seguimiento

Antes de efectuar la prueba, es necesario que el panel se encuentre fijo y en posición horizontal con dirección perpendicular hacia los rayos solares del medio día. A continuación se procede a tomar mediciones de Voltaje y Corriente generadas por la Incidencia de la Radiación Solar sobre el panel, además se mide el voltaje en la Batería. En la Tabla 4.2 se muestran los datos medidos cada 15 minutos.

Hora	Voltaje Panel (V)	Corriente Carga (mA)	Voltaje Carga Batería (V)
10:00	17.45	60	11.18
10:15	17.55	80	11.20
10:30	17.65	120	11.23
10:45	18.20	150	11.23
11:00	19.20	170	11.26
11:15	19.45	180	11.28
11:30	20.10	180	11.31
11:45	20.23	200	11.34
12:00	20.47	210	11.37
12:15	20.79	210	11.40
12:30	20.72	240	11.42
12:45	21.00	240	11.45
13:00	20.95	260	11.45
13:15	20.75	280	11.47
13:30	20.59	270	11.51
13:45	20.58	280	11.53
14:00	20.60	240	11.55
14:15	20.73	240	11.54
14:30	20.65	210	11.58
14:45	20.61	220	11.60
15:00	20.79	220	11.60
15:15	20.74	200	11.61
15:30	20.81	140	11.63
15:45	19.90	140	11.63
16:00	19.36	120	11.65
16:15	18.94	120	11.67
16:30	18.80	120	11.67
16:45	18.52	100	11.68
17:00	18.39	80	11.70
17:15	18.44	60	11.70
17:30	18.47	60	11.68
17:45	18.40	40	11.67
17:00	17.10	40	11.65

Datos con Cielo Despejado – Sin Seguimiento- Fecha: 06-02-2009

Tabla 4.2 Datos de Voltaje - Corriente de Panel Solar y Voltaje de Carga de la Batería bajo Incidencia Solar

Los datos de la Tabla 4.2, permiten graficar la curva de Voltaje del Panel y Voltaje de Batería con Cielo despejado (Figura 4.4).

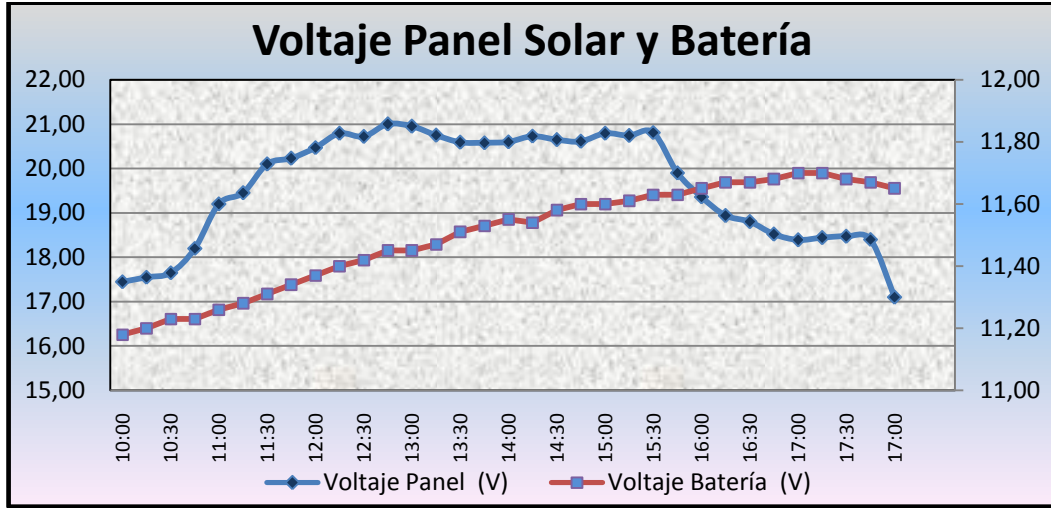


Figura 4.4 Curva de Voltaje Generado por el Panel y Voltaje de Carga de la Batería

En la Figura 4.5 se observa la curva de Corriente de Carga y la influencia que ésta tiene sobre el voltaje final de la Batería. Se puede indicar que la corriente no es predominante sobre el voltaje de batería, puesto que ésta disminuye debido a que no se mantiene un direccionamiento perpendicular de los rayos del Sol con respecto al panel fotovoltaico en el transcurso del día por la falta de seguimiento solar.

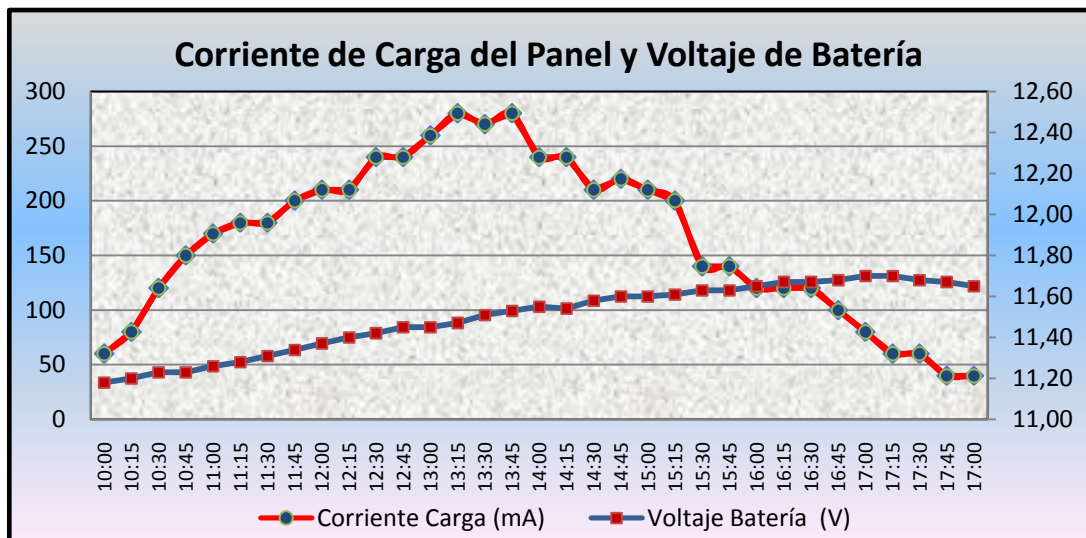


Figura 4.5 Corriente de Carga Generado por el Panel y Voltaje de Carga de la Batería

4.2. Condiciones de operación y funcionamiento con seguimiento.

Con el fin de comprobar el correcto funcionamiento del equipo, es necesario efectuar algunas pruebas con el sistema completo. Esto servirá para obtener mejores resultados cuando el equipo funcione con seguimiento del Sol y posicionamiento automático.

4.2.1. Ubicación del Panel en Posición Inicial

La prueba consiste en comprobar la correcta ubicación del panel en la posición inicial y a partir de ésta, empiece el seguimiento solar automático. Esto se logra cuando las fotorresistencias que sirven de sensores de posicionamiento Este y Oeste envían la señal al microcontrolador y éste a su vez al servomotor.

Antes de la prueba, el equipo debe ser situado de la manera que se muestra en la Figura 4.6, haciendo coincidir la placa de dispositivos de medición y control, en dirección al Oeste.

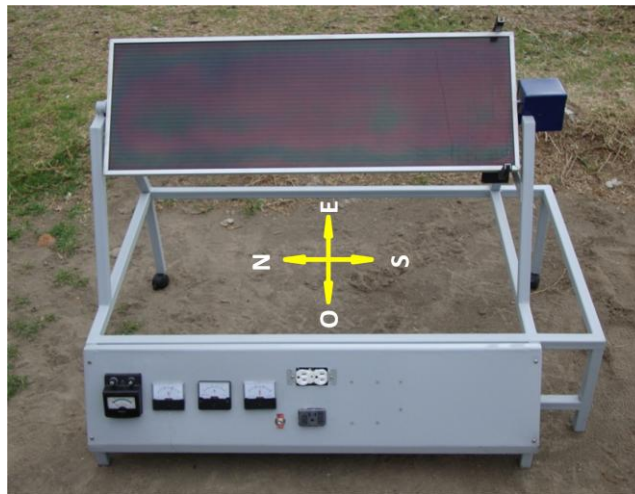


Figura 4.6. Disposición del Equipo para Seguimiento Solar Automático

A continuación, se acciona el Switch de apertura de alimentación a la posición ON, transcurre un tiempo aproximado de 1.5 segundos para inicializar el programa, el panel gira automáticamente hasta encontrar la máxima incidencia luminosa sobre uno de los sensores, en este momento se detiene y espera el tiempo necesario hasta que cambie la relación luz/sombra entre los dos sensores para efectuar un nuevo avance y búsqueda de posicionamiento.

Al inicializar la búsqueda se tiene una respuesta lenta en el tiempo de avance y posicionamiento del panel, para mejorar esto; se modificó el ángulo de giro del servomotor enviándole pulsos más seguidos mediante programación en el microcontrolador. De tal modo se consiguió que tenga un avance más rápido y en forma continua.

Con el cambio realizado se tiene una respuesta más efectiva del sistema, incluso al cambio de luz artificial; pero esto no es necesario debido a que el movimiento aparente del sol no es rápido.

Al final se comprueba la velocidad aproximada de posicionamiento del panel y el tiempo que se tarda en llegar de un extremo a otro. Para esto se coloca el Panel en el extremo final con dirección al Oeste y se tapa el fotosensor de este lado.

Se enciende el equipo y se ilumina el sensor del Este hasta que alcance el otro extremo.

Angulo Recorrido: 174°

Tiempo Transcurrido: 64 segundos

$$\text{Velocidad} \left[\frac{\text{Grados}}{\text{segundo}} \right] = 174^\circ / 64s$$

$$\text{Velocidad} \cong 6^\circ / \text{seg.}$$

Una vez culminada la prueba de posicionamiento, se realizan pruebas con seguimiento solar automático.

4.2.2. Pruebas con Seguimiento Automático

La prueba consiste en obtener mediciones de la Corriente de Carga hacia el Panel, el Voltaje del Panel y Voltaje de Carga de la batería; las mediciones fueron tomadas con intervalos de 30 min., en días y condiciones climáticas diferentes, con cielo despejado, variado y nublado.

A continuación se ha incluido en la Tabla 4.3 los valores de las medidas efectuadas correspondientes a la Corriente de Carga que se toma del Amperímetro instalado en el equipo, las mediciones del voltaje del Panel y la Batería, se efectuaron con multímetros digitales marca FLUKE 87 IV y Pro'sKit 3PK-343 respectivamente

	CIELO DESPEJADO 29-Ene-2010			CIELO VARIADO 28-Ene-2010			CIELO NUBLADO 01-Feb-2010		
Hora	Corriente de Carga (mA)	Voltaje Panel (V)	Voltaje Batería (V)	Corriente de Carga (mA)	Voltaje Panel (V)	Voltaje Batería (V)	Corriente de Carga (mA)	Voltaje Panel (V)	Voltaje Batería (V)
8:00	100	14.00	12.00	100	13.00	11.50	40	8.00	11.50
8:30	120	15.20	12.10	120	15.50	11.56	70	10.10	11.51
9:00	130	19.20	12.20	140	17.00	11.55	90	12.50	11.53
9:30	140	19.38	12.25	140	18.10	11.56	100	14.15	11.53
10:00	200	19.80	12.40	170	18.25	11.59	140	15.25	11.59
10:30	220	19.85	12.54	190	18.70	11.61	160	15.70	11.61
11:00	240	19.92	12.58	220	19.20	11.63	160	16.20	11.63
11:30	260	20.08	12.58	240	19.50	11.70	180	16.50	11.65
12:00	300	20.40	12.60	220	18.10	11.80	200	15.10	11.70
12:30	320	20.16	12.63	200	18.20	11.90	180	15.20	11.82
13:00	320	20.18	12.66	160	17.80	11.92	140	14.80	11.85
13:30	300	20.25	12.69	160	17.70	11.93	160	14.70	11.91
14:00	290	20.32	12.65	120	17.10	11.91	120	14.10	11.95
14:30	280	20.11	12.64	160	17.30	11.94	140	14.30	11.96
15:00	260	20.02	12.62	240	18.50	11.98	150	15.50	11.98
15:30	230	19.82	12.62	220	18.30	11.98	160	15.30	11.95
16:00	200	19.62	12.60	220	18.50	12.00	140	15.50	11.95
16:30	180	19.50	12.60	180	18.60	11.98	140	15.60	11.92
17:00	170	19.25	12.58	180	18.40	12.05	100	15.40	11.92
17:30	150	19.18	12.55	160	18.10	12.00	80	15.10	11.88
18:00	100	19.10	12.55	80	13.00	11.90	80	10.00	11.85

Tabla 4.3 Datos de Voltaje - Corriente Generadas por el Panel y Voltaje de Batería con Seguimiento Automático del Sol

Los datos de la Tabla 4.3 permiten graficar las curvas de comportamiento del Voltaje del Panel, Corriente de Carga de la Batería y el Voltaje de Batería para cada uno de los días de prueba.

La Figura 4.7 muestra las curvas generadas por los datos de Voltaje de salida del Panel, en ésta puede observarse que el Voltaje es mayor y constante durante el día con cielo despejado, en comparación a los días nublado y variado.

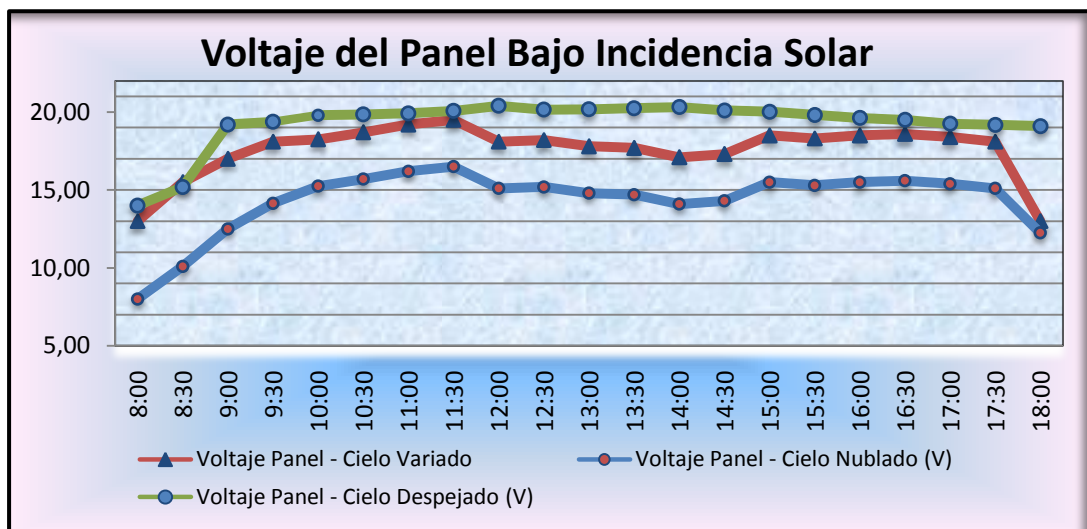


Figura 4.7 Curvas de Voltaje del Panel con Seguimiento Solar

A continuación se observa la Figura 4.8 en la que se grafican las curvas de Corriente generadas por el Panel bajo Incidencia Solar.

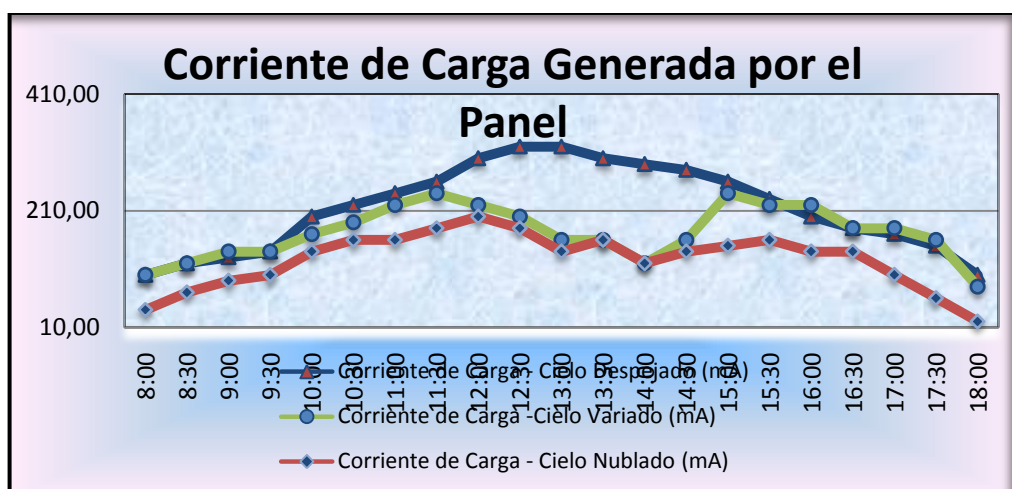


Figura 4.8 Curvas de Corriente de Carga con Seguimiento Solar

Haciendo referencia a la Figura 4.8, se puede indicar que el promedio de los valores que forman la curva de Corriente con cielo despejado, superan en un 42% al promedio de los valores medidos con cielo nublado; y en relación al día en que el cielo se encuentra variado (claro-nublado), lo supera en un 26%.

A continuación se muestra la Figura 4.9, en ésta se presenta la curva correspondiente al Voltaje de Batería para cada uno de los días en que se efectuaron las mediciones.

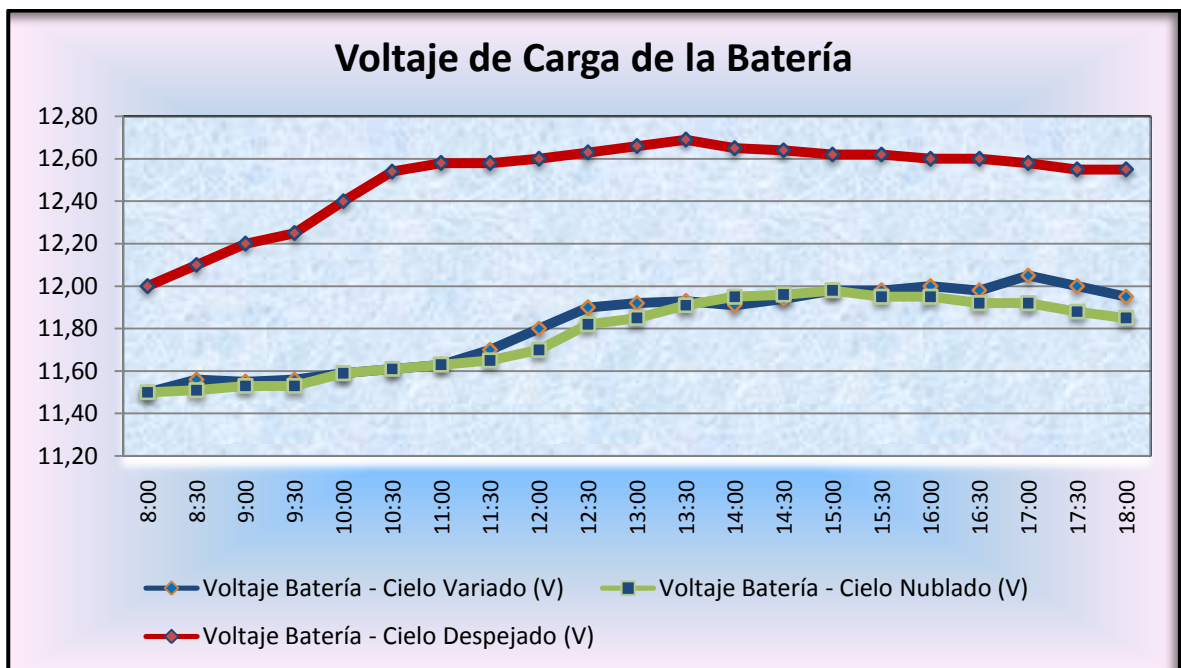


Figura 4.9 Curva Voltaje de Batería con Seguimiento Solar

Analizando los resultados que muestra la Figura 4.9, se puede hacer mención que el Voltaje de la Batería está directamente relacionado con la Corriente de Carga. Al revisar, los datos de la Tabla 4.3, se nota que los valores más altos y constantes de corriente se obtienen cuando el cielo se encuentra despejado.

Se hace referencia a la Corriente de Carga y no al Voltaje del Panel, debido a que las Baterías se cargan con Corriente.

Es importante que la corriente sea limitada hasta un cierto valor con el propósito de aumentar la duración de la batería; en este caso la corriente se encuentra limitada para cargar a un valor máximo de 400 mA aproximadamente.

4.3. Pruebas de fiabilidad del equipo Con / Sin irradiación solar

Para efectuar las pruebas de fiabilidad del equipo es necesario comprobar el funcionamiento del sistema completo. Para efectuar las mediciones de Voltaje del Panel, Voltaje de Batería y Temperatura del Medio Ambiente, se utilizó un Multímetro Digital marca Pro'sKit 3PK-343 con conexión serial RS 232 al Computador. Mediante la comunicación al PC se puede visualizar en tiempo real la formación de la curva de comportamiento de cada una de las variables mencionadas anteriormente.

4.3.1. Fiabilidad del equipo con irradiación solar

El funcionamiento del equipo se comprobó en las pruebas de posicionamiento y seguimiento automático que se efectuaron en los párrafos 4.2.1 y 4.2.2 con sus respectivos resultados.

Antes de efectuar las mediciones correspondientes a Voltaje del Panel y Voltaje de Batería, se procedió a medir la temperatura ambiente con la ayuda de la Termocupla Tipo K que viene como dispositivo de medición del Multímetro. La Figura 4.10 muestra la curva y datos de temperatura del día 11 de febrero 2010, con cielo despejado.

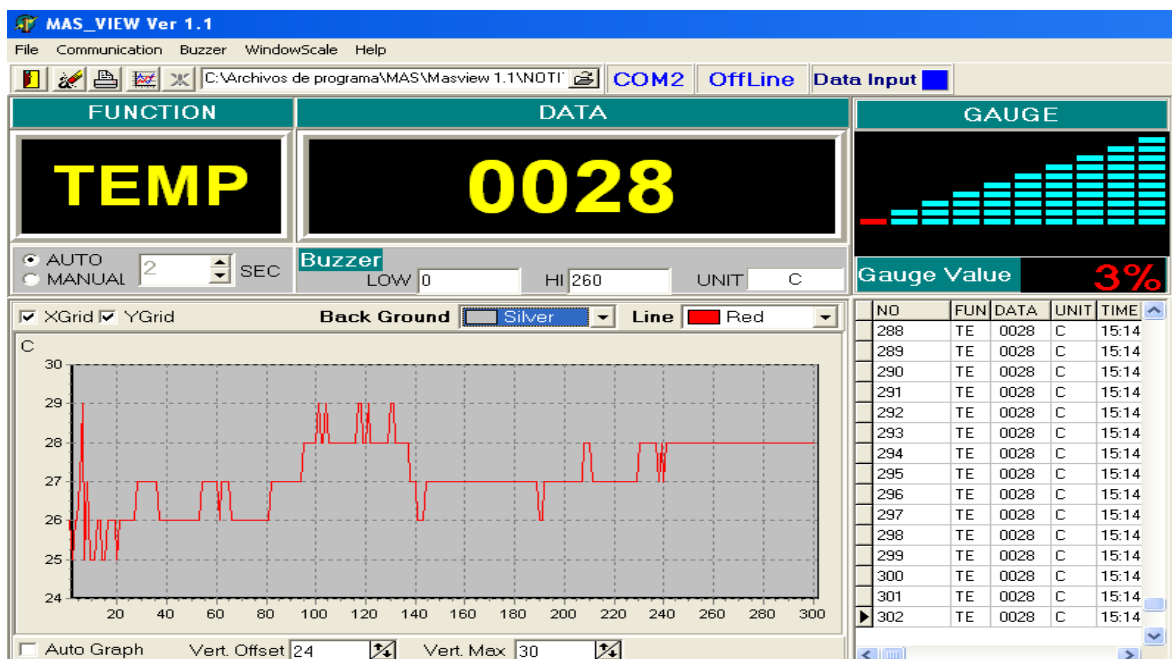


Figura 4.10 Gráfica de la Temperatura Ambiente mostrada en el Computador

Mediante las pruebas efectuadas, se pudo determinar que al encontrarse el cielo despejado y a una temperatura promedio entre 25° C y 27° C, se puede acumular mayor cantidad de energía. Esto se justifica con los valores de Voltaje de Batería, al inicio y final del día.

En la prueba se tiene que a las 09H00 la batería inicia con 12.3 Voltios y logra mantenerse por encima de los 12.5 Voltios. Al culminar con la prueba, se totalizaron 300 mediciones; las mismas que van formando la curva automáticamente. Cada una de las mediciones es tomada en el tiempo de 1 minuto (Figura 4.11).

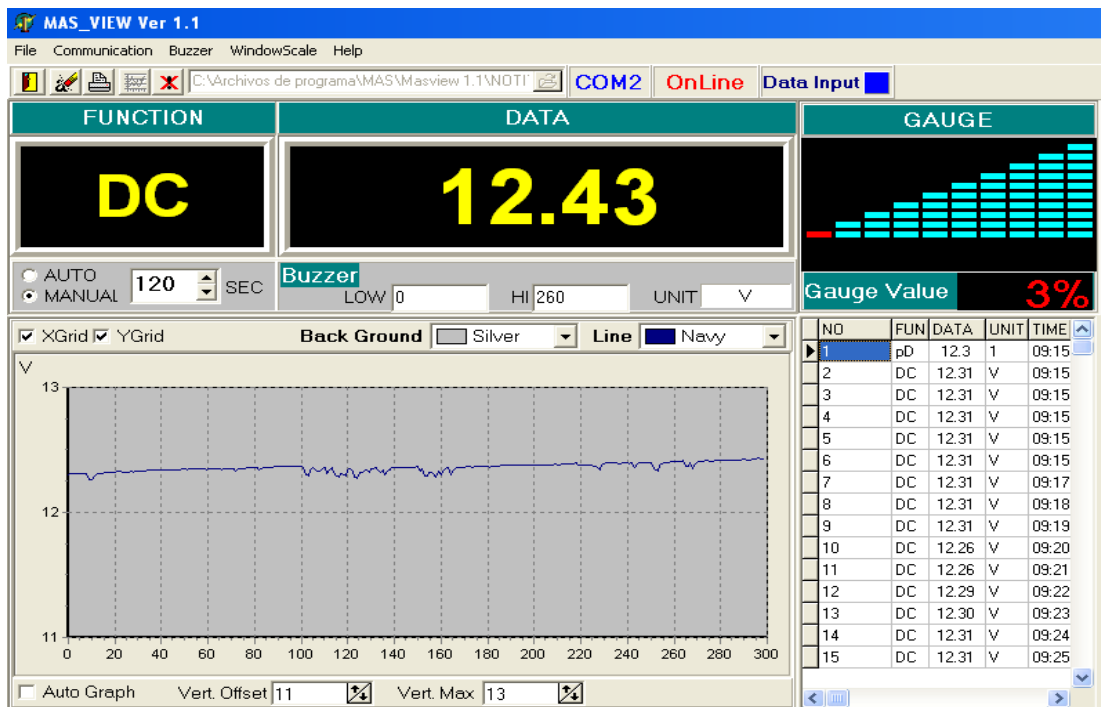


Figura 4.11 Datos y Curva del Voltaje de Batería con Cielo Despejado

Mediante las pruebas se quiere comprobar, el funcionamiento de sistema y que éste logre acumular energía en la batería. En las pruebas con carga que se tiene más adelante, se podrá obtener una mejor apreciación sobre los resultados mostrados en este punto.

A continuación, en la Figura 4.12 se puede observar la gráfica de la curva de Voltaje del Panel generada en tiempo real con la ayuda del Multímetro y comunicación al computador. Los datos ingresan al programa del computador cada 30 segundos, se almacenan y forman la curva conforme aparece un nuevo dato.

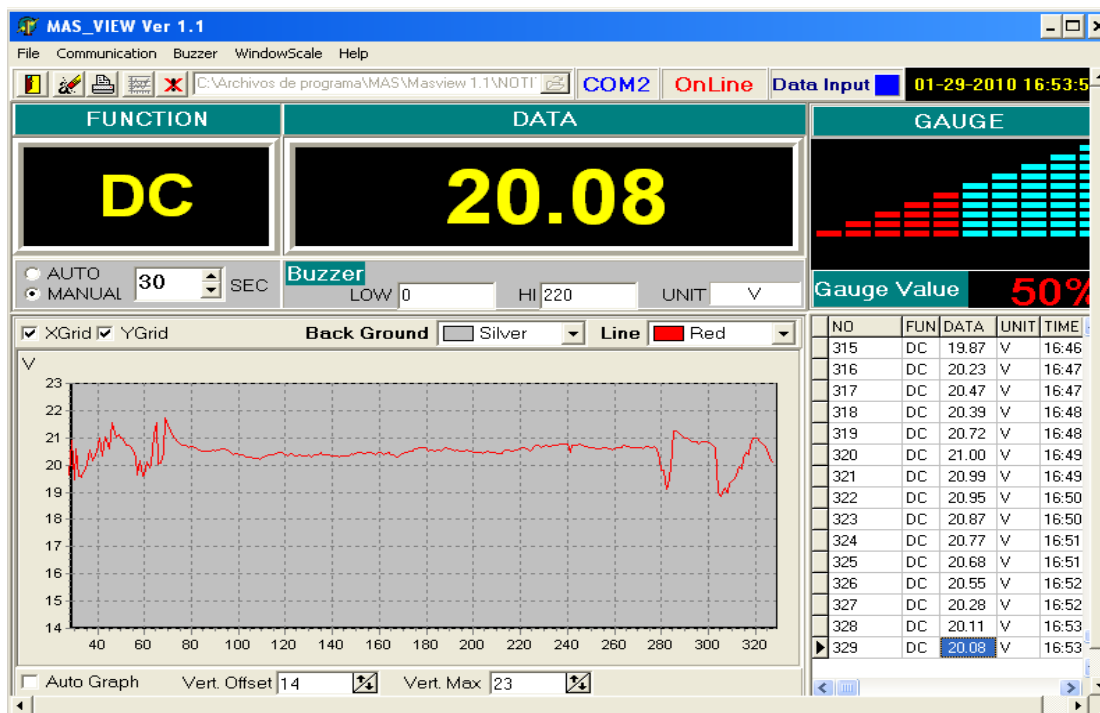


Figura 4.12 Curva de Voltaje del Panel con Cielo Despejado

En la Figura 4.12 se puede observar que existe distorsión en la parte final de la curva, esto se debe a que existen cambios en la Radiación Solar por efecto del polvo, viento, y otros factores. Si se comparan con los datos de la Tabla 4.3, se tiene una diferencia en los valores finales de Voltaje del Panel; debido a que en esta prueba en particular, las mediciones se efectuaron en forma automática cada 30 segundos, mientras que en la prueba efectuada en el párrafo 4.2.2 se toman cada 30 minutos, tiempo en el cual puede acontecer un sinnúmero de variaciones en el medio.

4.3.2. Fiabilidad del equipo sin irradiación solar

De la misma forma que se efectuaron pruebas con cielo despejado, se realizan pruebas con cielo nublado.

Cuando el día se encuentra nublado no se tiene buenos resultados en la carga de energía de la batería, dependiendo del voltaje de Batería, el sistema tardará más tiempo para acumular energía. Si logra acumular la cantidad de energía necesaria, podrá abastecer de manera confiable a las cargas determinadas en este proyecto.

La Figura 4.13 muestra la curva y datos del voltaje de Batería del día 8 de febrero del 2010, con cielo nublado. Se puede observar que el voltaje de inicio de la Batería es aproximadamente de 11.80 voltios, y culmina la prueba con 12.15 voltios, comparando con los datos correspondientes al Voltaje de Batería que se tienen en la Tabla 4.3, se puede indicar que con cielo nublado, en las dos pruebas efectuadas se logra acumular de 0.30 a 0.35 Voltios en el transcurso del día. Esto garantiza que el equipo funciona incluso con limitaciones ambientales.

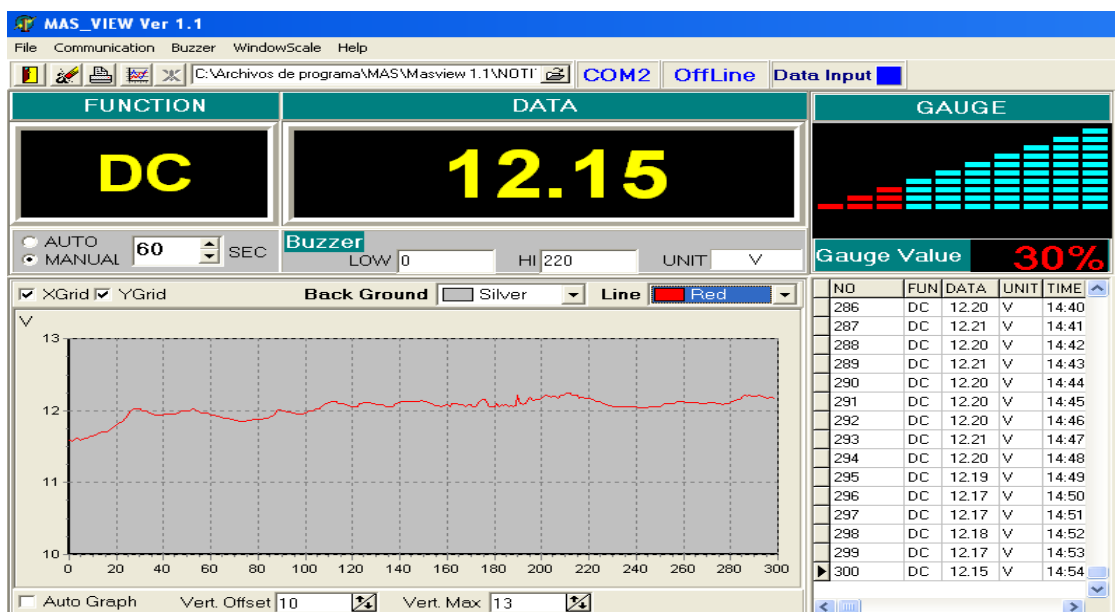


Figura 4.13 Datos y Curva del Voltaje de Batería con Cielo Nublado

4.4. Pruebas de fiabilidad del equipo con Carga

Una vez comprobado el funcionamiento y operación del equipo, se procede a efectuar las pruebas conectando cargas y observar la respuesta del sistema.

4.4.1. Prueba con Cargas Puntuales

Las pruebas finales de funcionamiento del equipo, se realiza con cargas reales que se tienen en el medio. En este punto se da a conocer, que la Potencia Máxima que entrega el equipo es aproximadamente de 50Watt con salida a 110 Voltios AC; característica que se tiene del Inversor de Corriente conectado. Se comprueba con el Multímetro que el Voltaje de salida es de 116 Voltios AC.

A continuación se presenta un detalle de los aparatos que van a ser conectados con sus potencias respectivas.

Ítem	Denominación	Cantidad	Potencia (W)
01	Cargador de Celular	1	5
02	Foco Ahorrador de Energía de 11 W	2	22
03	Radio Grabadora o Radio-TV	1	25

Tabla 4.4 Aparatos eléctricos con sus potencias de consumo

El propósito que persigue esta prueba, es el de obtener datos reales de consumo y que éstos sirvan de ayuda para elaborar una tabla en la que se tenga una guía del tiempo de abastecimiento que puede brindar la batería de acuerdo a la Potencia de la carga conectada.

En la Figura 4.14 se puede observar los aparatos conectados al equipo en el momento que se encuentran en funcionamiento, se debe aclarar que las cargas son de Corriente AC, alimentados con 120 voltios AC.



Figura 4.14 Cargas Conectadas al Equipo

En cada una de las pruebas efectuadas con carga se realizan las mediciones correspondientes al Voltaje inicial y final de la batería, las medidas se toman con una diferencia de 10 minutos.

Los datos ayudan a generar una gráfica de comportamiento del voltaje de la Batería con el respectivo análisis de resultados.

PRUEBA 1.

APARATO: RADIO GRABADORA

POTENCIA: 25 W

Hora		Voltaje Batería (V) DC		Diferencial
Inicio	Final	Inicial	Final	Voltaje
1:45	1:55	11.85	11.82	0.03
1:55	2:05	11.82	11.78	0.04
2:05	2:15	11.78	11.74	0.04
2:15	2:25	11.74	11.70	0.04
2:25	2:35	11.70	11.66	0.04
2:35	2:45	11.66	11.62	0.04
2:45	3:00	11.62	11.59	0.04

Tabla 4.5 Datos de disminución del Voltaje de Batería con una Carga de 25 Watios

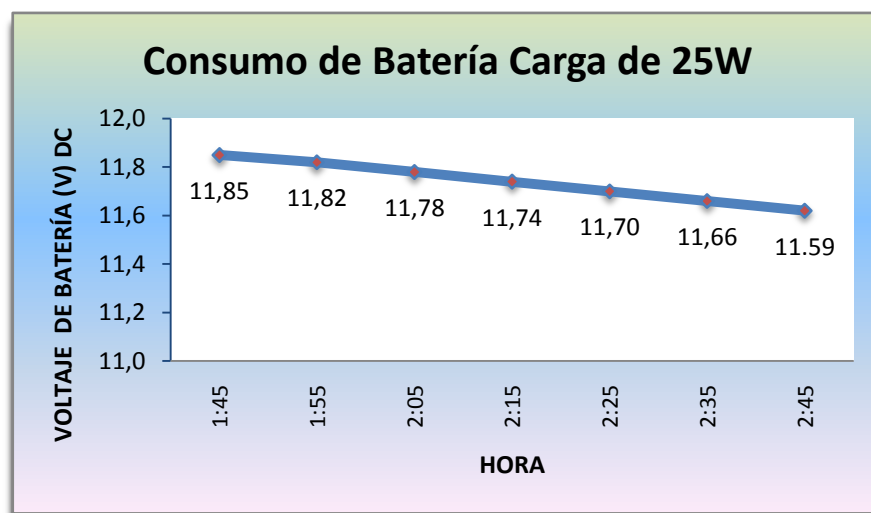


Figura 4.15 Descarga de Voltaje en la Batería. Carga 25 W

En la Tabla 4.5 se presentan las mediciones correspondientes al voltaje de inicio y final de la batería. Transcurrido el tiempo de una hora de prueba, se tiene un consumo final en unidad de voltaje igual a 0.26 voltios; esto indica que de permanecer conectada la carga; se puede abastecer a la carga por el tiempo de 2.5 horas, siempre y cuando la batería se encuentre cargada y tenga un voltaje inicial de 12.0 voltios, se hace referencia a este valor ya que en el momento que llegue la batería al valor de 11.2 voltios, el equipo dejará de proveer energía.

PRUEBA 2.

APARATO: 2 FOCOS AHORRADORES DE ENERGIA LUZ BLANCA DE 11 W

POTENCIA: 22 W

Hora		Voltaje Batería (V) DC		Diferencial
Inicio	Final	Inicial	Final	Voltaje
22:20	22:30	12.42	12.39	0.03
22:30	22:40	12.39	12.35	0.04
22:40	22:50	12.35	12.32	0.03
22:50	23:00	12.32	12.29	0.03
23:00	23:10	12.29	12.25	0.04
23:10	23:20	12.25	12.21	0.04

Tabla 4.6 Datos de disminución del Voltaje de Batería con una Carga de 22 Watios

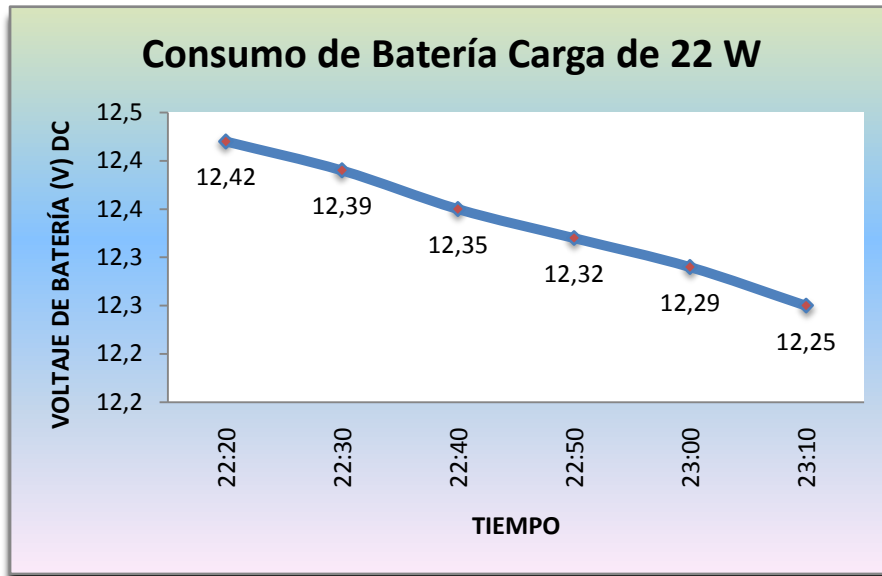


Figura 4.16 Descarga de Voltaje en la Batería. Carga 22 W.

Igual que acontece con la Prueba 1, transcurrido el tiempo de una hora se tiene un consumo final en valores de voltaje igual a 0.21 voltios; y haciendo referencia a los resultados que se tuvo con la carga de 25Watt, se llega a determinar que el equipo puede abastecer a esta carga por el tiempo de 3 horas.

Se efectúan otras pruebas con cargas de 30 watios y 47 watios, los datos de las mediciones efectuadas y sus gráficas respectivas se pueden observar en el ANEXO E

Partiendo de los resultados obtenidos en las pruebas con carga, se pudo generar una Tabla y una Curva en la que se muestran los valores de Potencia (Carga en Watios que puede ser conectada al equipo) Vs. Tiempo de Abastecimiento de la batería para dicha carga.

A continuación se presenta la Tabla 4.7 con los valores de Potencia y Tiempo de funcionamiento.

Potencia	Tiempo de Funcionamiento	
	Horas	Minutos
1	5.0	300
3	4.8	287
5	4.6	273
7	4.3	260
9	4.1	247
11	3.9	233
13	3.7	220
15	3.4	207
17	3.2	193
19	3.0	180
21	2.8	167
23	2.6	153
25	2.3	140
27	2.1	127
29	1.9	114
31	1.7	100
33	1.4	87
35	1.2	74
37	1.0	60
39	0.8	47
41	0.6	34
43	0.3	20
45	0.1	7

Tabla 4.7 Tiempo de Abastecimiento de la Batería para Diferentes Cargas

Los datos de la Tabla 4.7 permiten graficar la Curva de Potencia Vs. Tiempo de Abastecimiento de la Batería, esto se puede observar en la Figura 4.17

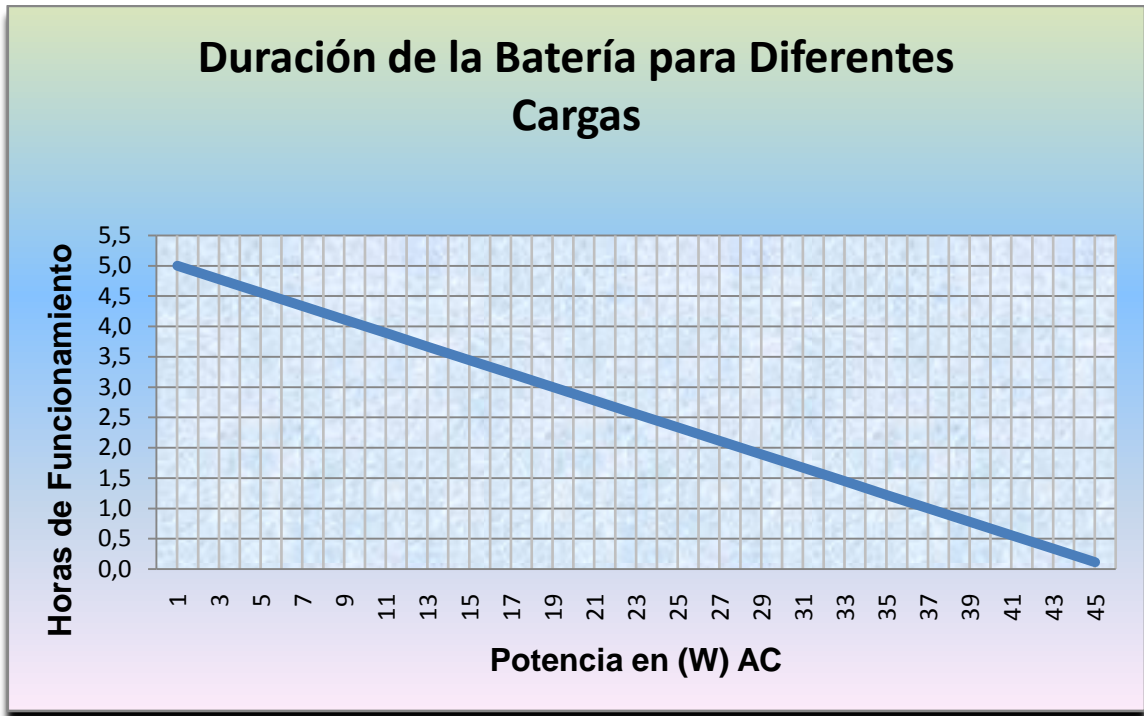


Figura 4.17 Abastecimiento de la Batería para Diferentes Cargas

4.4.2. Prueba de Desconexión de Alimentación

Se procede a conectar una carga resistiva de 2400Ω , el voltaje de la batería disminuye hasta alcanzar el valor de 10.98 voltios, en ese momento el Led bicolor que se encuentra conectado en el amperímetro cambia su color de verde a rojo; esto indica que la batería se encuentra descargada y alcanzó el límite de voltaje para su funcionamiento. Con esto se comprueba que la programación efectuada en el PIC funciona y envía la señal hacia el relé que se encarga de abrir el circuito y desconectar la alimentación a la carga.



Figura 4.18 Medición del Voltaje de Batería y Cambio de Color en Led Indicativo

4.5. Análisis de Resultados Finales.

En las pruebas efectuadas se mencionó que el factor preponderante que influye sobre el Voltaje de Batería es la Corriente de Carga, la evaluación de resultados muestra claramente la eficiencia del seguidor solar en comparación con el panel fotovoltaico fijo. Nótese, en la Tabla 4.8 la comparación de valores para cada uno de los casos.

Hora	Corriente de Carga	
	Sin Seguimiento (mA)	Con Seguimiento (mA)
10:00	60	200
10:30	120	220
11:00	170	240
11:30	180	260
12:00	210	300
12:30	240	320
13:00	260	320
13:30	270	300
14:00	240	290
14:30	210	280
15:00	210	260
15:30	140	230
16:00	120	200
16:30	120	180
17:00	80	170
17:30	60	150
18:00	40	100
PROMEDIO	160.59	236.47

Tabla 4.8 Valores comparativos de los Sistemas Fijo y con Seguimiento

Analizando los valores presentados en la tabla anterior, se puede indicar que el valor promedio de Corriente de Carga con Seguimiento supera aproximadamente en un 30% al sistema que se encuentra Fijo. Esto ayuda a la batería en varios aspectos; se carga en menos tiempo, la carga es continua y al final se dispondrá de mayor cantidad de energía para ser entregada en su momento. Cabe mencionar, que las mediciones en los dos casos se efectuaron con cielo despejado y a una temperatura entre 25°C y 27°C.

En la Figura 4.19 se puede observar de mejor manera los resultados de esta comparación.

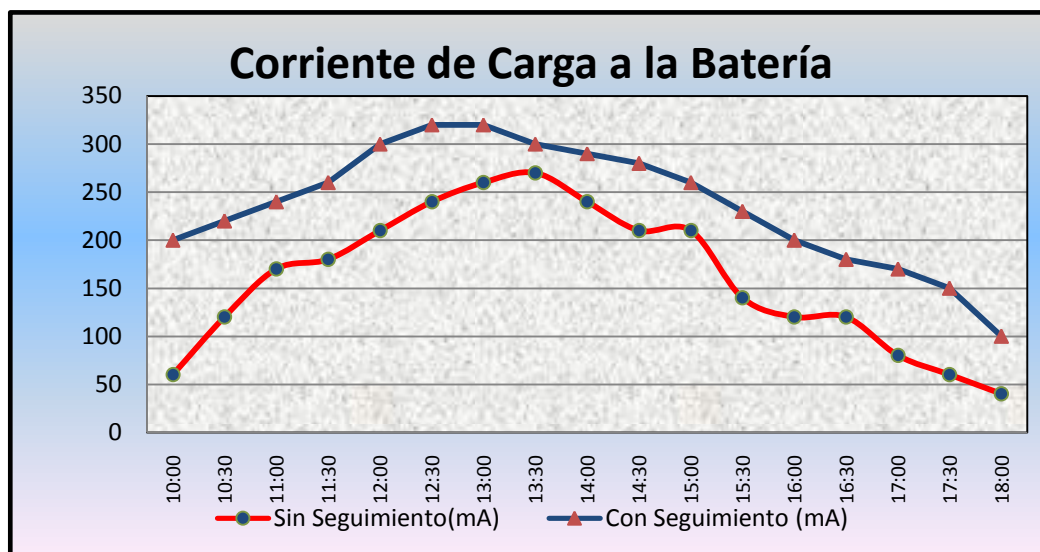


Figura 4.19 Diferencia en la Corriente de Carga con Sistemas Fijo y con Seguimiento

Comparando los sistemas Fijo y con Seguimiento, se puede afirmar que los valores de Voltaje del Panel y Corriente de Carga son más eficientes en el momento que el Panel se posiciona en forma perpendicular con los Rayos solares. Se puede alcanzar hasta un incremento del 15% en lo que respecta al Voltaje y un 25% en la Corriente de Carga.

Cuando la incidencia solar es menor o se tiene un día con Cielo Nublado, se presenta un problema; la batería tarda más tiempo para su recarga, esto dificulta en el momento de entregar energía ya que no puede abastecer por el tiempo indicado al conectar una carga.

En todas las pruebas efectuadas con carga, se puede indicar que la batería tiene una descarga en forma lineal. Lo que si se debe tomar en cuenta es que a medida que se va reduciendo el Voltaje de Batería, su descarga es mucho más rápida, debido a que internamente la batería se ve afectada por la temperatura.

Durante la evaluación del seguidor solar se pudo constatar que el viento puede llevar a un estado de inestabilidad al mecanismo de giro, para eliminar este problema se tuvo que modificar el Control del Programa en el Microcontrolador; enviando pulsos con diferente ancho hacia el servomotor. Con esto se logra restituir el panel a su posición y atenuar la inestabilidad.

El inconveniente que representa para el sistema es que cada vez que actúa el servomotor consume energía, lo cual hace que el rendimiento disminuya durante todo el día de forma constante.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

Una vez culminado el proyecto, de los resultados obtenidos se puede concluir lo siguiente:

- Este pequeño módulo servirá como base sustentable para mejorarlo y adecuarlo como parte de una solución al problema de la electrificación básica en viviendas rurales unifamiliares, que son habitadas en forma permanente y aisladas de la red.
- El presente trabajo muestra los aspectos correspondientes al diseño y construcción de un sistema de seguimiento solar en un eje (Este-Oeste), cuyos objetivos planteados al inicio del proyecto fueron cumplidos.
- Se logra realizar el diseño y la construcción del seguidor solar de un eje con elementos mecánicos y componentes electrónicos accesibles en el mercado local.
- Se indica que la primera condición que debe reunir un sistema de aprovechamiento de energía solar, es la de recoger la mayor cantidad posible de energía recibida en un determinado lugar, esto exige que el Panel Solar se encuentre siempre perpendicular a la Incidencia de los rayos solares, por tanto debe tener un seguimiento solar.
- Se demostró que mediante un seguidor solar, el panel fotovoltaico obtiene la máxima captación de energía durante todo el día, de manera que el sistema aumenta su rendimiento entre un 20% y 25% en este caso, comparado con el panel fotovoltaico que se encuentra estático.
- Se puede aseverar que los sistemas de seguimiento solar son fiables, mejorando los rendimientos energéticos y económicos de un consumidor final. Tal es el caso que se aumenta el tiempo de vida de las baterías.

- El sistema rastreador usa fotorresistencias como sensores de posicionamiento, ya que en la bibliografía consultada se recomienda utilizarlos porque proporcionan un procedimiento sencillo de localización y seguimiento luminoso. Además este tipo de sensores se los encuentra fácilmente en el mercado lo cual facilitó notablemente la construcción del equipo.
- La utilización del servomotor combinado con las señales que envían los sensores de rastreo a través del Microcontrolador, da como resultado que el posicionamiento del panel sea más exacto.
- Para este proyecto se decidió utilizar un servomotor de aeromodelismo y no un motor PAP. Para esto se tomó en cuenta la facilidad del control y que es accesible de encontrarlo en el mercado.
- En la construcción del equipo se puede comprobar las ventajas que presenta trabajar con Microcontroladores, facilitando la programación, reducción de espacio y de elementos electrónicos.
- Se determina que la máxima intensidad de luz solar se tiene desde las 12h00 a 14h30, obteniendo el máximo valor a las 12h30 según las pruebas efectuadas.
- El circuito de control puede controlar un panel más grande, únicamente se debe verificar que el peso del panel no sobrepase el Torque para el cual está dimensionado el servomotor y el sistema.
- Ante la presencia de días nublados, el sistema responde dirigiéndose al lugar donde tiene una mayor incidencia de luz natural.
- El sistema tiene una mayor sensibilidad y respuesta al encontrarse expuesto a la Incidencia de una luz artificial; es decir, el panel responde ante ligeros cambios de posición de la fuente luminosa incidente.
- Por la dificultad que representa el encontrar cargas para Corriente Continua de baja potencia, se vió la necesidad de instalar un Inversor de Corriente, logrando de esta manera que el equipo pueda entregar Corriente Alterna para las cargas que fueron sometidas a las pruebas.
- Se pudo demostrar que el sistema está dimensionado para abastecer a las cargas que se plantearon en el inicio del proyecto.
- El equipo está dimensionado para abastecer una carga de 25 Watt por el lapso de tiempo de 3 horas aproximadamente. Esto se debe a que el Panel no aporta con una

mayor cantidad de energía por estar constituido de un material de silicio amorfo, que apenas aprovecha el 7% de la energía total que incide sobre su superficie.

- La intensidad luminosa de la luz del sol que llega a nuestro planeta, varía constantemente debido a factores externos como el smog, polvo, gases y días nublados etc. Afectando en la carga de la batería y finalmente en el abastecimiento de energía a las cargas que deben conectarse al sistema.
- El programa desarrollado para el control del equipo, también cumple con los objetivos planteados como es el de realizar el seguimiento de una fuente luminosa de tal manera que ubique al panel en una posición perpendicular a esta fuente incidente. Y el de cortar el paso de alimentación de energía hacia la carga cuando el Voltaje de Batería llega a su límite de funcionamiento que se encuentra en los 11 Voltios.
- El consumo de corriente del circuito de control es bajo, aproximadamente 0,120 A, con una potencia de consumo de 1.5W.

5.2. RECOMENDACIONES

- Se debería tomar este trabajo como fuente de consulta e impulsar el desarrollo y aprovechamiento de este tipo de energía.
- Con el propósito de Investigación se puede optar por mejorar el sistema de seguimiento por un seguidor de dos ejes y comparar los resultados de eficiencia con respecto al seguidor de un solo eje.
- Se puede mejorar la eficiencia del sistema cambiando el panel por uno de mayor potencia.
- Si se efectúa el cambio del panel, es necesario reemplazar la batería para aumentar el almacenamiento de energía.
- Al ser un modelo experimental, el programa de usuario que corre dentro del microcontrolador puede ser modificado para mayor funcionalidad. Un ejemplo sería si se requiere visualizar parámetros del equipo en forma digital, se lo puede implementar.
- Cuando se necesita incrementar el torque de cualquier mecanismo, se recomienda implementar un grupo de engranajes de reducción, siempre y cuando la velocidad no sea un impedimento o factor crítico en el sistema.

- Realizar nuevas pruebas de captación de energía en otros lugares del país y con diferentes condiciones climáticas. La inestabilidad del panel por efecto del viento, puede mejorarse mecánicamente con la ayuda de servomotores que tengan un mayor Torque, con esto se evitaría que se tenga un consumo de energía utilizado en el momento de restituir el panel a su posición perpendicular con respecto a los rayos solares.
- En lo que respecta a los dispositivos electrónicos, si se cambia el panel, debe reemplazarse la resistencia que limita la corriente de carga hacia la batería y el inversor de DC-AC.
- Se debería realizar un estudio de los rayos solares que llegan a la superficie de la tierra, y determinar los efectos que tienen sobre los elementos de captación y almacenamiento de energía.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

OBERG Erick, JONES F.D., Manual Universal de la Técnica Mecánica, Décima Cuarta edición, Editorial LABOR S. A., Tomo I, Barcelona-España, 1979.

LARBURU ARRIZABALAGA Nicolás, Máquinas Prontuario, Séptima Edición, Editorial Paraninfo, Madrid-España, 1995.

MOTT Robert L., Diseño de Elementos de Máquinas, Segunda Edición, Editorial Prenticehall Hispanoamericana, México D.F., 1995.

FAIRES Moring, Diseño de Elementos de Máquinas, Editorial UTEHA, 1982

ROLDAN VILORIA José, Motores Eléctricos Aplicación Industrial, Editorial Paraninfo, Madrid-España, 1992.

REYES Carlos, Microcontroladores PIC Programación en Basic, Tercera edición, RISPGRAF, Quito-Ecuador, 2008.

REYES Carlos, Aprenda rápidamente a programar PIC's, Primera edición, RISPGRAF, Quito-Ecuador, 2005.

CORRALES Santiago, Electrónica Práctica con Microcontroladores PIC, Imprenta Gráfica, Quito-Ecuador, 2006.

SALGADO FERNÁNDEZ José Ma., Compendio de Energía Solar Fotovoltaica, Térmica y Eléctrica, AMV Ediciones, Mundi Prensa, Madrid España, 2008.

VALERA Aníbal, Energía Solar Teoría y Práctica, Primera Edición, Editorial Hozlo S.C.R.L., Lima-Perú, 1993.

MERINO AZCÁRRAGA José María, Eficiencia Energética Eléctrica, Generación de la Electricidad, Primera Edición, Editorial Urmo, s.a., Tomo II, Sevilla-España, 2003

ABELLA Miguel Alonso, Sistemas Fotovoltaicos Introducción al Diseño y Dimensionado de Instalaciones de Energía Solar Fotovoltaica, Segunda Edición, AMV Ediciones, Mundi Prensa, Madrid España, 2005.

RODRÍGUEZ RIVERA José Ma., Instrumentación Industrial, Escuela Politécnica del Ejército, Electrónica e Instrumentación, 1999.

MEDINA DE PRÓCEL Margarita, Estudio de Sistemas Fotovoltaicos como Fuente Renovable de Energía, EPN, Ingeniería Eléctrica. 1982.

Cooperación Internacional, Energías Renovables para el Desarrollo, Editorial Thompson/Paraninfo. 2003.

ENLACES ELECTRONICOS

- www.codeso.com
- <http://www.ingelec.uns.edu.ar/lmeii2774/docs/LME2-NC01-SAD-Ap1-transd.PDF>
sensores
- http://www.elprisma.com/apuntes/ingenieria_industrial/transductoressensores/default3.asp sobre sensores
- <http://www.iniec.com/Aprean2010/Energia-Solar-Fotovoltaica.pdf> curso de ESFV
- <http://www.skf.com/portal/skf/home/products?lang=es&maincatalogue=1&newlink=1>
- <http://www.modulosolares.com/modulos>
- <http://www.tecnun.es/asignaturas/elemaqui/cap9.pdf>
- http://www.ing.unlpam.edu.ar/~material/tecmecanica/material_didactico.htm
- <http://www.todocoleccion.net/teoria-calculo-bobinados-electricos-j-rapp-9-edicion-1983~x7282313>
- http://www.emagister.com.mx/cursos_control_electrico_motores-tpsmx-314789.htm
- http://www.automatas.org/hardware/teoria_pid.htm
- http://www.automatas.org/hardware/teoria_pid.htm
- <http://www.x-robotics.com/motorizacion.htm>
- <http://www.pjmicrocontroladores.wordpress.com/2007/03/02/programador-por-puerto-serie-para-pic/>
- <http://www.skf.com/portal/skf/home/industries?contentId=341375&lang=en>
- <http://www1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/39582b.pdf> -
- <http://www.microchip.com/downloads/en/devicedoc/40044D.pdf>
- <http://www.todoexpertos.com/categorias/ciencias-e-ingenieria/fisica/respuestas/1576087/calcular> -
- Cwebmasterfc@uni.edu.pe Universidad Nacional de Ingeniería del Perú. Facultad de Ciencias.
- <http://www.ingelec.uns.edu.ar/lmeii2774/docs/LME2-NC01-SAD-Ap1-transd.PDF>
sensores
- http://www.elprisma.com/apuntes/ingenieria_industrial/transductoressensores/default3.asp sobre sensores

- <http://www.iniec.com/Aprean2010/Energia-Solar-Fotovoltaica.pdf> curso de ESFV
- <http://www.cubasolar.cu/biblioteca/Ecosolar/Ecosolar15/HTML/articulo02.htm>
- <http://academicos.cualtos.udg.mx/Pecuarios/PagWebAC/Lecturas/01%20Radiacion%20en%20la%20atmosfera.pdf>

ANEXO A

ANEXO A1	DATOS DE IRRADIACION SOLAR	ANEXO A1-6
<p style="text-align: center;">UNIVERSITY OF MASSACHUSETTS LOWELL</p> <p style="text-align: center;">PHOTOVOLTAIC PROGRAM</p> <p style="text-align: center;">INTERNATIONAL SOLAR IRRADIATION DATABASE, Version 1.0</p> <p style="text-align: center;">MONTHLY SOLAR IRRADIATION</p> <p>The main section of the database includes site location data and monthly daily global horizontal irradiation, over the period of record. The irradiation unit used is kWh m⁻² day⁻¹.</p> <p>The data are presented in tables with country name headings, 23 columns, and 1 or 2 rows for each named site. The first row gives the monthly mean values for irradiation. The following row, identified by the symbol "S" in Column 9, gives the standard deviations. In many cases, we received only monthly values averaged over several years, and not multiple years of monthly values, so that the standard deviation could not be computed.</p> <p>The following table describes the information in each column.</p> <p>COLUMN HEADING & DESCRIPTION</p> <p>1 CODE: An alpha-numeric code used to reference the row of data to the source information (of printed document).</p> <p>2 SITE: The city, town or station where the data was recorded.</p> <p>3 LATITUDE: The site latitude expressed in degrees.</p> <p>4 LATITUDE; HEMISPHERE (not labeled): N or S for northern or southern hemisphere.</p> <p>http://energy.caeds.eng.uml.edu/solbase.html 11/6/2009</p>		

ANEXO A1	DATOS DE IRRADIACION SOLAR	ANEXO A2-6
<p>Lower case n or s indicates latitude not given with site data, but obtained elsewhere.</p>		
5	<p>LONGITUDE: The site longitude expressed in degrees.</p>	
6	<p>LONGITUDE; RELATIVE TO GREENWICH MERIDIAN (not labeled):E or W for east or west of the meridian. Lower case e or w indicates latitude not given with site data, but obtained here.</p>	
7	<p>ELE: Elevation of the site in meters above sea level.</p>	
8	<p>YRS: The number of years of data that are included</p>	
9	<p>D: The type of data in columns 10-21: I - Monthly mean daily global horizontal irradiation. S - Unbiased standard deviation of global irradiation: where S_i is the average value for year i, and \bar{S}_i is the average over n years.</p>	
10-21	<p>JAN through DEC: Monthly values of: mean daily global horizontal irradiation in kWh m⁻² day⁻¹; or unbiased standard deviation of the global irradiation in kWh m⁻² day⁻¹.</p>	
22	<p>AVG: The yearly average of the irradiation data in columns 10-21 for I data rows; or the standard deviation of the yearly averages for S data rows.</p>	
23	<p>SRC: The nature of the data source. The symbols used are described below. Detailed information on data sources is given in printed document: P - Irradiance measured using pyranometer. H - Data calculated from cloud cover information or bright sunshine hours. U - Data from source lacking information on instrumentation</p>	
<p>http://energy.caeds.eng.uml.edu/solbase.html 11/6/2009</p>		

ANEXO A1	DATOS DE IRRADIACION SOLAR	ANEXO A3-6
<p>A few of the data sources made reference to the accepted standards for reporting insolation data. The standards include the International Pyrheliometric Scale (IPS) adopted in 1956, and the World Radiometric Reference (WRR); (WRR=IPS*1.022). The World Meteorological Organization (WMO) recommends use of the WRR.</p> <p>Information in the printed document indicates the standard used where known.</p> <p>Site names are listed alphabetically within their countries.</p> <p>http://energy.caeds.eng.uml.edu/solbase.html 11/6/2009</p> <p>In some cases, data sources give differing spellings to what appear (from coordinate data) to be the same location. In general, we respected the differences in spelling and present the source version. In some cases, the source lists site numbers or experiment numbers rather than location names. These sites are included for their location data.</p> <p>http://energy.caeds.eng.uml.edu/solbase.html 11/6/2009</p>		

ANEXO A1		DATOS DE IRRADIACION SOLAR DEL ECUADOR													A4-6					
31 .c.Ecuador																				
ECUSA	Ambato	1.28 S	78.63 W	2540	18	I	4.64	4.56	4.56	4.42	4.39	3.97	4.28	4.5	4.5	4.97	5	4.81	4.55	H
ECU1A	Astronomico	0.22 S	78.48 W		25	I	4.48	4.6	4.68	4.35	4.55	4.28	5.22	5.1	5.11	4.68	4.39	4.69	4.68	U
ECU1A	Astronomico					S	1.14	1.28	1.21	1.2	1.17	1.36	1.3	1.36	1.19	1.48	1.23	1.06	0.51	U
ECUSA	Babahoyo (I. Maria)	1.82 S	79.55 W	7	18	I	3.67	3.97	4.36	4.31	3.81	3.25	3.39	3.69	3.78	3.72	3.69	3.72	3.78	H
ECUSA	Bahia De Caraquez	0.60 S	80.38 W	3	3	I	3.83	4.14	4.67	4.53	4.14	3.31	3.64	3.94	3.89	3.92	4.06	4.17	4.02	H
ECU1A	Bahia de Caraquez	0.60 S	80.43 W		4	I	3.88	4.32	4.86	4.49	3.94	3.39	3.83	4.13	4.08	3.68	4.23	4.27	4.09	U
ECU1A	Bahia de Caraquez					S	0.17	0.28	0.1	0.06	0.44	0.19	0.36	0.82	0.95	0.41	0.42	0.21	0.21	U
ECUSA	Baños	1.40 S	78.42 W	843	9	I	4.25	4.28	3.94	4.11	4.08	3.61	3.89	4.11	4.19	4.75	4.69	4.5	4.2	H
ECUSA	Boyaca	0.57 S	80.18 W	30	2	I	3.33	3.36	4.36	3.83	3.67	3.31	3.56	3.94	3.81	4.11	3.94	3.83	3.75	H
ECUSA	Bucay	2.17 S	79.27 W	317	9	I	3.22	3.39	3.75	3.5	3.31	2.86	3.28	3.5	3.28	3.42	3.39	3.42	3.36	H
ECUSA	Camposano	1.58 S	80.40 W	120	2	I	3.56	3.86	4.36	4.31	4.19	3.53	4.28	4.11	4.28	4.64	4.39	3.89	4.12	H
ECUSA	Cañar	2.62 S	78.93 W	3104	2	I	4.47	4.28	4.36	4.28	4.56	4.31	4.92	4.89	4.58	4.78	4.83	4.75	4.58	H
ECUSA	Cariamanga	4.32 S	79.57 W	1950	2	I	4.28	4.22	4.36	4.33	4.64	4.81	5.08	5.39	4.67	5.75	5.33	4.64	4.79	H
ECUSA	Charles Darwin	0.73 S	90.30 W	6	2	I	4.69	5.03	5.39	5.5	4.53	4.19	3.64	3.53	3.69	4.14	4.36	4.17	4.41	H
ECUSA	Coca	0.45 S	76.98 W	200	3	I	3.83	4.53	3.53	4.14	4.14	3.39	3.83	3.83	3.78	4.33	4.25	4.56	4.01	H
ECUSA	Cotopaxi	0.62 S	78.57 W	3560	2	I	4.31	4.25	3.94	3.64	3.75	3.86	4.14	4.64	4	4.44	4.56	4.17	4.14	H
ECUSA	Cuenca-Ricaurte	2.85 S	78.95 W	2562	6	I	4.58	4.58	4.56	4.28	4.25	3.92	4.22	4.39	4.39	4.78	5.06	4.97	4.5	H
ECUSA	El Puyo	1.58 S	77.90 W	950	14	I	3.56	3.56	3.64	3.53	3.69	3.44	3.69	4	4	4.33	4.28	3.89	3.8	H
ECUSA	Flavio Alfaro	0.40 S	79.60 W	150	1	I	3.17	3.56	4.06	3.53	3.64	3.31	2.94	3.03	3.28	3.81	3.83	3.75	3.49	H
ECUSA	Guayaquil	2.20 S	79.88 W	6	9	I	4	4.17	4.67	4.58	4.56	3.86	4.17	4.5	4.67	4.56	4.31	4.44	4.37	H
ECU1A	Guayaquil-Aeropuerto	2.20 S	79.88 W		9	I	3.43	4.41	3.4	4.35	4.32	3.59	4.36	3.63	5.69	4.16	3.72	4.61	4.14	U
ECU1A	Guayaquil-Aeropuerto					S	1.2	1.54	1.45	1.46	1.38	1.1	1.16	1.32	1.81	1.3	1.35	1.51	0.41	U
ECUSA	Hacienda Sangay	1.70 S	77.90 W	970	9	I	3.47	3.47	3.75	3.61	3.69	3.44	3.61	4	4	4.25	4.08	3.81	3.77	H
ECU1A	Hda. San Vicente	0.57 S	80.43 W		4	I	3.91	4.23	4.17	4.81	4.05	3.63	2.99	3.18	3.02	3.36	3.17	3.71	3.68	U
ECU1A	Hda. San Vicente					S	0.61	0.46	0.63	0.52	0.76	1.27	0.7	0.44	0.25	0.37	0.05	0.2	0.38	U
ECUSA	Ibarra	0.35 N	78.13 W	2228	17	I	4.44	4.42	4.36	4.36	4.58	4.36	4.89	4.97	4.61	4.72	4.5	4.5	4.56	H
ECU1A	Ibarra	0.35 N	78.13 W		22	I	4.56	4.38	4.22	4.16	4.35	4.21	4.79	4.93	4.58	4.6	4.37	4.3	4.45	U
ECU1A	Ibarra					S	0.47	0.42	0.47	0.5	0.5	0.6	0.28	0.47	0.48	0.47	0.48	0.42	0.33	U
ECUSA	Inguincho	0.25 N	78.40 W	3380	2	I	4.72	4.92	4.56	4.25	4.47	4.61	4.97	5.08	5	5.03	4.92	4.81	4.78	H
ECU1A	Isabel Maria	1.80 S	79.53 W		18	I	3.52	3.83	4.28	4.33	3.62	3.11	3.08	3.41	3.55	3.19	3.24	3.36	3.54	U
ECU1A	Isabel Maria					S	0.25	0.38	0.39	0.38	0.36	0.5	0.37	0.32	0.38	0.24	0.23	0.37	0.14	U
ECU1A	Izobamba	0.37 S	78.55 W		22	I	4.33	4.39	4.7	4.18	4.23	4.4	5.24	5.02	4.99	4.42	4.56	4.43	4.57	U
ECU1A	Izobamba					S	1.08	1.31	1.12	0.83	1.05	1.14	1.13	1.01	0.73	1.17	1.02	0.99	0.37	U
ECUSA	Izobamba	0.37 S	78.55 W	3058	17	I	4.5	4.44	4.56	4.33	4.64	4.33	5.14	5.06	4.78	4.83	4.75	4.75	4.68	H
ECU7A	Izobamba	0.37 S	78.55 W	3058	4	S	4.23	4.11	4.05	3.75	4.10	4.04	4.21	4.45	4.47	4.15	4.17	4.21	4.16	U
ECU7A	Izobamba					I	0.37	0.30	0.14	0.42	0.14	0.30	0.18	0.21	0.24	0.09	0.31	0.29	0.11	U
ECUSA	Jama	0.20 S	80.27 W	5	1	I	3.61	3.64	4.36	3.83	3.75	2.94	4.72	3.44	3.5	4.03	3.94	3.86	3.8	H
ECUSA	Julcuy	1.47 S	80.62 W	230	3	I	3.56	3.78	4.25	4.11	4.08	3.44	4.28	4.92	4.5	4.33	4.39	4.11	4.15	H
ECUSA	La Clementina	1.67 S	79.35 W	20	9	I	3.78	3.78	4.06	4.11	3.61	3.06	3.31	3.39	3.5	3.53	3.58	3.81	3.63	H
ECU1A	La Clementina	1.67 S	79.35 W		8	I	3.37	3.54	3.81	3.9	3.23	2.74	2.8	3.1	3.34	3.05	3.14	3.43	3.29	U
ECU1A	La Clementina					S	0.35	0.32	0.2	0.49	0.25	0.14	0.2	0.22	0.14	0.17	0.2	0.27	0.12	U
ECUSA	La Concordia	0.10 N	79.42 W	300	14	I	3.5	3.83	4.14	4.06	3.94	3.33	3.69	3.56	3.39	3.47	3.39	3.33	3.64	H
ECUSA	La Naranja	1.37 S	80.47 W	528	16	I	3.28	3.47	3.83	3.83	3.69	3.17	3.5	3.81	3.78	3.92	3.67	3.5	3.62	H
ECU1A	La Naranja-Jipijapa	1.37 S	80.47 W		18	I	2.89	3.17	3.48	3.69	3.39	3.03	3.17	3.62	3.67	3.44	3.17	2.98	3.31	U
ECU1A	La Naranja-Jipijapa					S	0.25	0.27	0.38	0.37	0.29	0.4	0.29	0.61	0.58	0.25	0.3	0.24	0.22	U

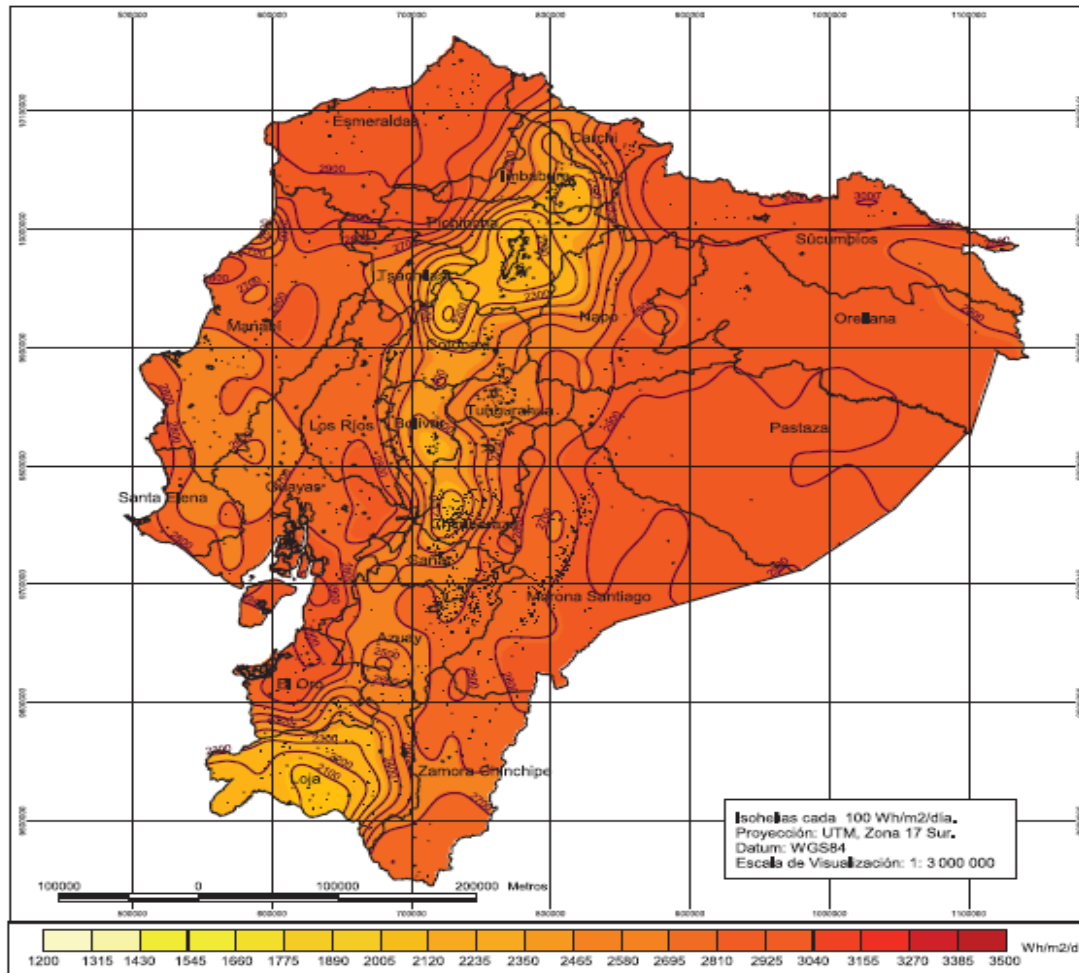
ANEXO A1		DATOS DE IRRADIACION SOLAR DEL ECUADOR														A5-6				
ECUSA	Latacunga	0.92 S	78.62 W	2785	17	I	4.53	4.25	4.36	4.03	4.31	4.11	4.53	4.61	4.5	4.64	4.58	4.58	4.42	H
ECU1A	Latacunga	0.92 S	78.62 W		20	I	4.47	4.38	4.21	4.01	4.07	4.09	4.32	4.53	4.44	4.51	4.44	4.37	4.32	U
ECU1A	Latacunga					S	0.52	0.5	0.39	0.41	0.33	0.44	0.26	0.53	0.48	0.51	0.51	0.68	0.26	U
ECUSA	Loja	4.00 S	79.20 W	2135	16	I	4.06	4.22	4.17	4.06	4.28	3.86	4.25	4.33	4.36	4.69	4.89	4.61	4.31	H
ECUSA	Macara	4.38 S	79.28 W	430	10	I	4.22	4.11	4.25	4.06	4.31	4	5.06	5.19	5.06	5.22	5.08	4.61	4.6	H
ECUSA	Macas	2.30 S	78.10 W	1070	1	I	4.17	4.17	4.06	3.92	4.28	3.5	3.78	3.69	4.17	4.36	4.72	4.22	4.09	H
ECUSA	Machala	3.27 S	79.95 W	6	1	I	4.42	4.81	5	4.56	4.78	4	3.72	4.17	3.78	3.86	3.83	4.69	4.3	H
ECUSA	Malchingui	0.07 N	78.33 W	2900	4	I	4.67	4.61	4.78	4.75	4.78	4.44	5.19	5.08	4.78	4.92	4.81	4.78	4.8	H
ECUSA	Manta	0.95 S	80.70 W	6	2	I	4.33	4.44	4.78	4.81	4.5	4	4.31	4.33	4.39	4.03	4.28	4.47	4.39	H
ECUSA	Milagro	2.15 S	79.60 W	13	17	I	3.69	3.97	4.36	4.39	3.89	3.22	3.47	3.69	3.78	3.83	3.81	3.94	3.84	H
ECU1A	Milagro	2.15 S	79.60 W		19	I	3.51	3.77	4.24	4.38	3.67	3.06	3.13	3.47	3.66	3.35	3.35	3.49	3.59	U
ECU1A	Milagro	2.15 S	79.60 W			S	0.3	0.31	0.36	0.45	0.35	0.39	0.31	0.28	0.37	0.23	0.23	0.3	0.15	U
ECUSA	Mutile	0.08 N	79.65 W	25	2	I	3.31	3.92	4.03	4.56	4.28	3.53	4.19	3.97	3.69	4.08	3.31	3.5	3.86	H
ECUSA	Napo-San Vicente	0.57 S	80.43 W	5	4	I	4.11	4.72	4.47	4.72	4.25	3.47	3.56	3.64	3.39	3.81	3.75	4.17	4	H
ECUSA	Nuevo Rocafuerte	0.92 S	75.40 W	265	3	I	4.72	4.56	4.06	3.92	4.03	3.72	4.22	4.33	4.69	4.64	4.58	4.47	4.33	H
ECUSA	Olmedo	0.13 N	89.62 W	6	6	I	5.06	4.89	4.67	4.56	4.89	4.94	5.42	5.39	5	5	5	4.47	4.94	H
ECUSA	Olmedo Manabi	1.38 S	80.22 W	60	1	I	3.36	3.97	3.64	3.53	3.61	3.17	3.69	4.42	3.89	3.83	3.56	4.31	3.75	H
ECUSA	Pasaje	3.32 S	79.93 W	6	15	I	3.64	3.81	4.25	4.08	3.72	3.19	3.44	3.36	3.28	3.33	3.42	3.56	3.59	H
ECU1A	Pasaje	3.35 S	79.83 W		17	I	3.38	3.68	4.12	4.17	3.48	3.08	3.04	3.07	3.01	2.72	2.8	3.31	3.35	U
ECU1A	Pasaje					S	0.32	0.31	0.3	0.33	0.37	0.55	0.37	0.4	0.16	0.24	0.17	0.98	0.22	U
ECUSA	Pedernales	0.07 S	80.07 W	10	1	I	3.69	3.83	4.89	4.08	3.75	3.5	3.47	3.44	3.61	3.92	3.83	3.44	3.79	H
ECU3A	Pedernales	0.07 S	80.07 W		1	I	5.02	5.8	6.41	6	5.65	5.39	4.68	4.82	5.06	4.98	4.7	4.62	5.36	U
ECUSA	Pichilingue	1.10 S	79.48 W	93	16	I	3.56	3.86	4.36	4.11	3.83	3.19	3.44	3.61	3.58	3.72	3.56	3.67	3.71	H
ECU1A	Pichilingue	1.10 S	78.48 W		21	I	3.02	3.72	3.74	4.13	3.65	2.89	3.07	3.44	3.65	3.43	3.22	3.35	3.44	U
ECU1A	Pichilingue					S	0.88	0.85	1.15	1.3	1.1	0.84	1.16	0.86	1.27	0.98	0.92	1.05	0.31	U
ECUSA	Pisayambo	1.07 S	78.42 W	3615	5	I	3.64	3.86	3.94	3.92	3.92	3.56	3.83	3.92	4	4.33	4.36	4.17	3.95	H
ECUSA	Portoviejo	1.07 S	80.33 W	44	11	I	3.64	3.86	4.47	4.42	4.22	3.47	4.5	4.22	4.39	4.33	4.17	4.17	4.16	H
ECU1A	Portoviejo	1.07 S	80.43 W		21	I	3.13	3.89	3.8	4.32	4.31	3.37	3.25	4.02	4.47	4.61	3.83	4	3.92	U
ECU1A	Portoviejo	1.07 S	80.43 W			S	0.92	1.09	0.99	1.17	1.07	0.94	1.05	1.42	1.51	1.34	1.39	1.11	0.43	U
ECU1A	Puerto Baquerizo	0.90 S	89.78 W		10	I	4.96	5.68	6.44	6.21	5.97	5.25	4.91	4.88	4.68	4.81	4.88	4.86	5.31	U
ECU1A	Puerto Baquerizo					S	0.36	0.91	0.44	0.44	0.49	0.45	0.35	0.25	0.76	0.38	0.4	0.28	0.23	U
ECUSA	Puerto Bolivar	3.35 S	80.00 W	6	15	I	4.42	4.81	5	4.56	4.78	4	3.72	4.17	3.78	3.86	3.83	4.69	4.3	H
ECU1A	Puerto Bolivar	3.27 S	80.00 W		4	I	4.4	4.64	4.91	4.86	3.82	3.33	3.37	3.24	3.73	3.08	3.48	3.82	3.89	U
ECU1A	Puerto Bolivar					S	0.03	0.3	0.22	0.52	0.37	0.11	0.13	0.18		0.38	0.16			U
ECUSA	Puerto Ila	0.38 S	79.55 W	260	16	I	3.44	3.64	4.06	3.83	3.56	3.11	3.36	3.44	3.39	3.5	3.44	3.36	3.51	H
ECU1A	Puerto Ila	0.55 S	79.37 W		16	I	3.11	3.52	3.77	3.84	3.33	2.86	2.93	3.19	3.22	2.98	2.91	2.88	3.21	U
ECU1A	Puerto Ila					S	0.25	0.38	0.39	0.34	0.41	0.47	0.45	0.41	0.28	0.24	0.21	0.28	0.23	U
ECUSA	Puerto Lopez	1.57 S	80.80 W	6	1	I	4.25	4.56	5	4.69	4.28	3.08	3.22	3.42	3.08	3.31	3.67	3.89	3.87	H
ECUSA	Quininde	0.33 S	79.47 W	95	1	I	3.5	3.72	4.14	3.86	3.47	3.42	3.47	3.64	3.39	3.81	4.03	3.53	3.66	H
ECUSA	Quito-Naquito	0.13 S	78.48 W	2812	4	I	4.94	4.64	4.78	4.53	4.83	4.69	5.53	5.47	4.89	5.25	5.14	5.14	4.99	H

ANEXO A1	DATOS DE IRRADIACION SOLAR DEL ECUADOR																A6-6		
ECU5A	Riobamba	1.67 S	78.63 W	2754	17 I	4.44	4.56	4.36	4.22	4.39	4.06	4.47	4.61	4.5	4.75	4.61	4.72	4.47	H
ECU1A	Riobamba	1.63 S	78.67 W		19 I	4.67	4.57	4.33	4.3	4.37	4.15	4.34	4.68	4.65	4.67	4.55	4.57	4.49	U
ECU1A	Riobamba				S	0.39	0.33	0.25	0.38	0.27	0.44	0.51	0.45	0.65	0.34	0.55	0.4	0.18	U
ECU3A	ECU1A	3.43 S	79.97 W		1 I	2.77	3.04	3.77	4.03	3.69	2.94	3.13	3.06	2.85	2.79	2.64	3.46	3.18	U
ECU5A	ECU5A	3.45 S	79.97 W		3 I	4.03	4.11	4.47	4.28	3.92		3	3.14	3.36	3.17	3.44	3.42	3.53	H
ECU5A	ECA5A	0.23 S	79.27 W	600	2 I	3.14	3.5	3.83	3.75	3.5	3.11	3.47	3.5	3.39	3.5	3.33	3.25	3.44	H
ECU1A	ECU5A	0.05 N	78.22 W	2876	1 I	4.64	4.5	4.56	4.56	4.58	4.17	4.72	4.89	5	4.42	4.19	4.5	4.56	H
ECU1A	ECU5A	2.33 S	79.82 W	17	1 I	3.5	3.78	4.17	4	3.78	3.22	3.58	3.89	3.69	3.72	3.81	3.42	3.71	H
ECU5A	ECU5A	0.75 S	75.53 W	220	8 I	4.53	4.33	4.17	3.83	3.94	3.64	3.92	4.53	4.58	4.69	4.56	4.47	4.27	H
ECU1A	ECU5A	0.82 S	77.70 W	2950	17 I	4.06	4.11	4.14	3.86	4.17	3.92	4.31	4.39	4.19	4.31	4.19	4	4.14	H
ECU1A	ECU1A	0.82 S	77.70 W		21 I	4.01	4.05	3.92	3.78	4.04	3.93	4.06	4.21	4.15	4.06	3.96	3.65	3.98	U
ECU5A	ECU1A				S	0.62	0.4	0.38	0.32	0.31	0.38	0.28	0.31	0.45	0.28	0.26	0.4	0.19	U
ECU5A	San Juan-La Maná	0.95 S	79.32 W	223	10 I	3.28	3.47	3.83	3.84	3.33	3	3.22	3.42	3.33	3.5	3.44	3.33	3.41	H
ECU5A	San Lorenzo	1.28 N	78.85 W	5	9 I	3.64	4	4.44	4.28	4	3.56	3.83	3.78	3.81	3.89	3.67	3.47	3.86	H
ECU5A	San Simon	1.65 S	78.98 W	2600	9 I	4.14	4.06	4.36	4.11	4.28	4.17	4.89	5	4.58	4.75	4.58	4.61	4.46	H
ECU5A	Santa Isabel	3.33 S	79.33 W	1598	16 I	3.92	3.92	4.06	3.89	4	4.06	4.58	4.64	4.47	4.78	4.89	4.5	4.31	H

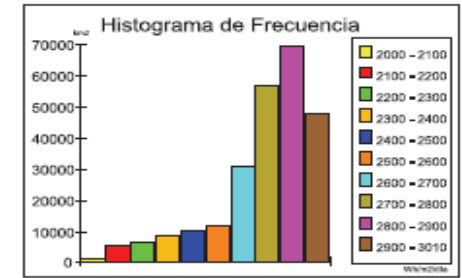
<http://energy.caeds.eng.uml.edu/solar/SDATCI1.PRN 11/6/2009>

ANEXO A2

Atlas Solar del Ecuador con fines de Generación Eléctrica



Insolación Difusa Promedio

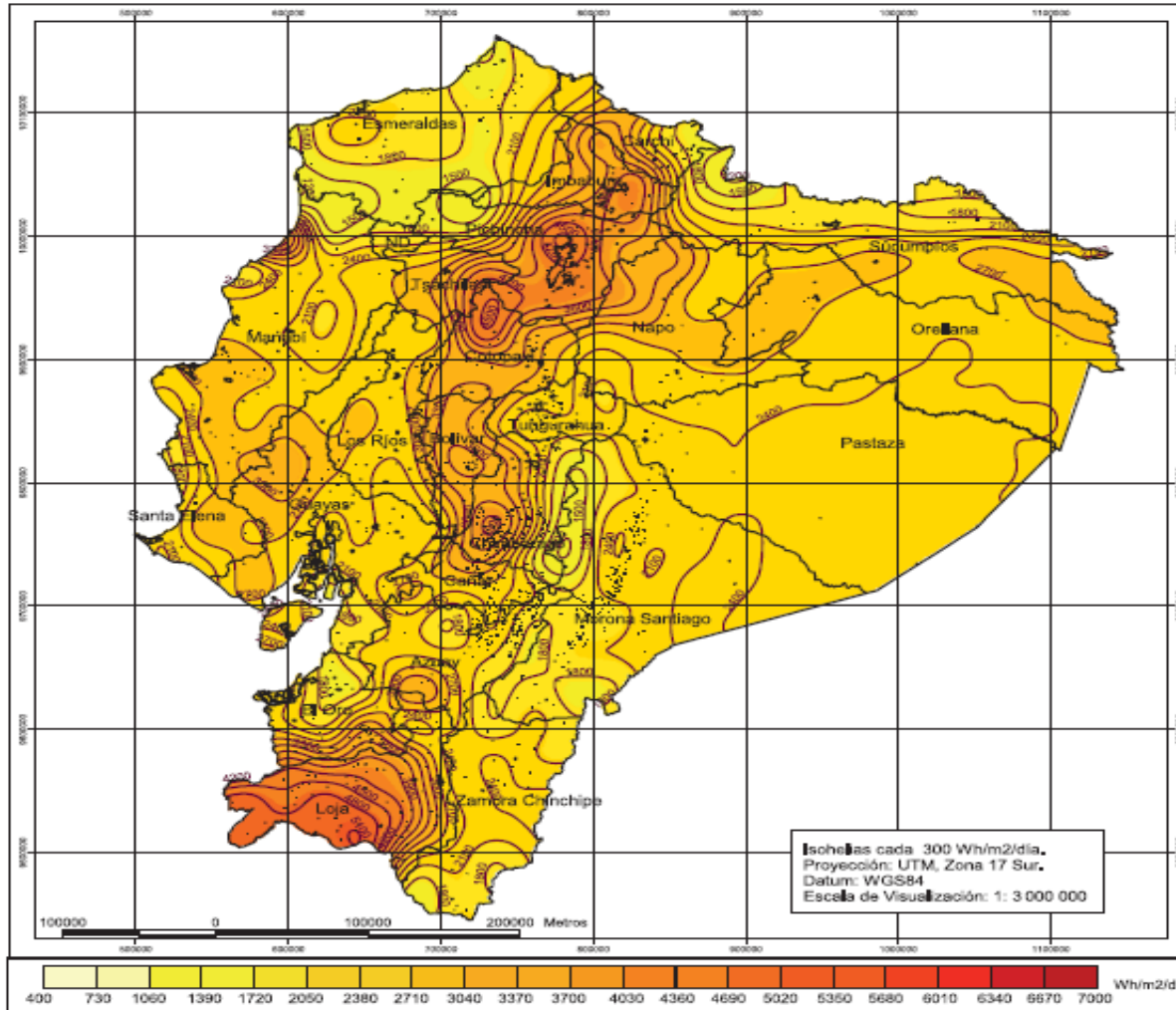


CONELEC
 Corporación para la Investigación Energética

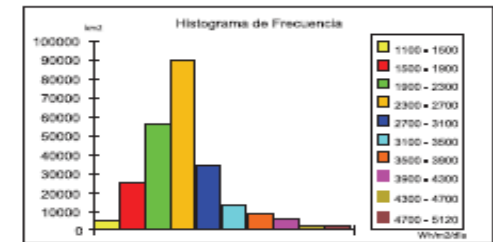
ATLAS SOLAR DEL ECUADOR CON FINES DE GENERACIÓN ELÉCTRICA

Contenido: Insolación Difusa Anual Promedio Fecha: Agosto del 2008

Atlas Solar del Ecuador con fines de Generación Eléctrica



Insolación Directa Promedio

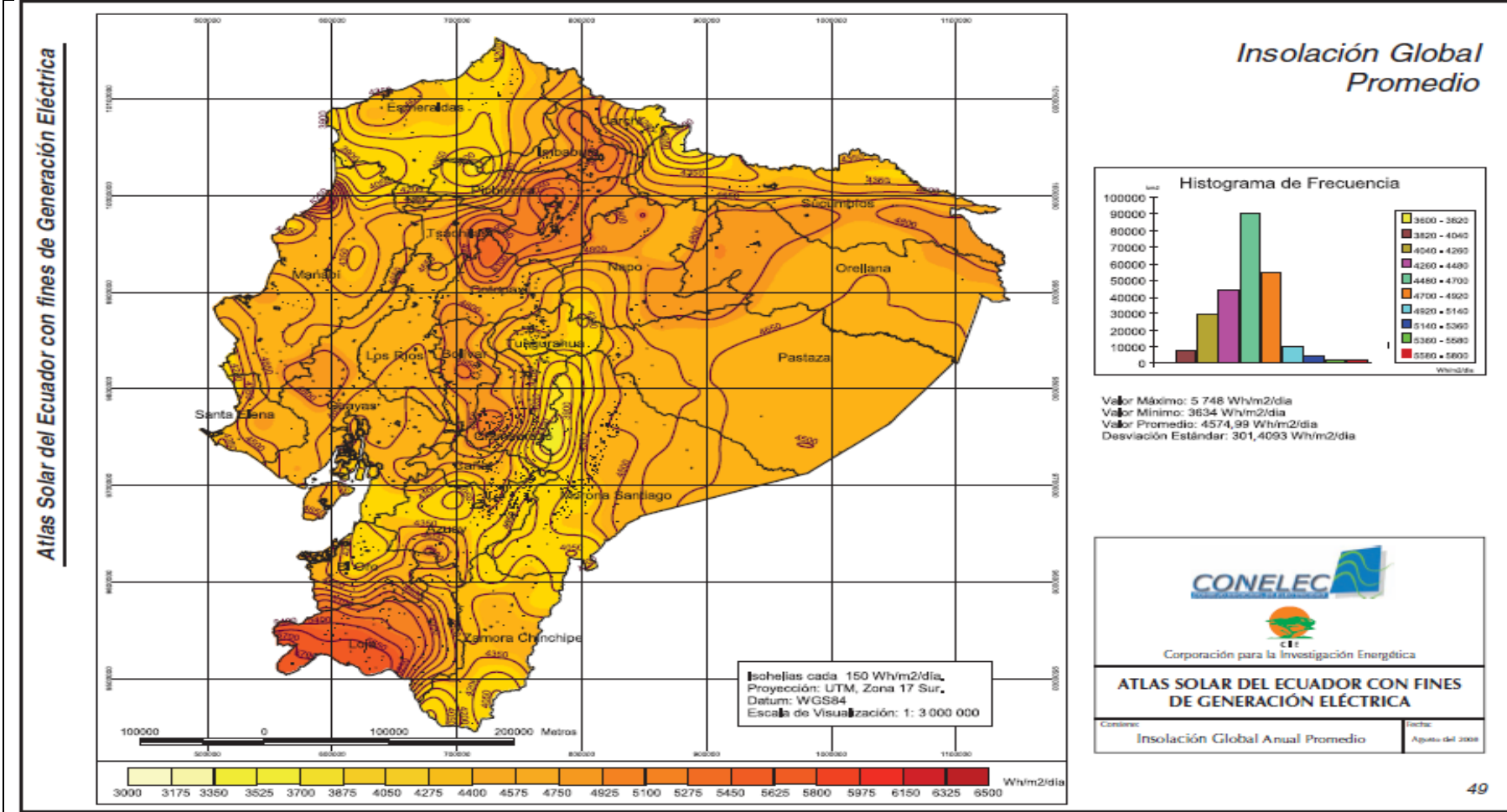


Valor Máximo: 5 119 Wh/m²/día
 Valor Mínimo: 1 147 Wh/m²/día
 Valor Promedio: 2543,01 Wh/m²/día
 Desviación Estándar: 643,1827 Wh/m²/día

CONELEC
 Corporación para la Investigación Energética

ATLAS SOLAR DEL ECUADOR CON FINES DE GENERACIÓN ELÉCTRICA

Contiene: Insolación Directa Anual Promedio Fecha: Agosto del 2008



ANEXO B

Paneles solares de 5-20 Vatios

Tecnología avanzada de silicio amorfo

Tecnología de confianza

Free Energy Europe fabrica paneles solares de silicio amorfo fiables y estables. Después de la estabilización inicial, durante los primeros dos meses de uso al aire libre, el panel de silicio amorfo permanecerá estable por décadas.

La vida útil estimada de los paneles de silicio amorfo de tecnología avanzada es de más de 20 años.

Más energía

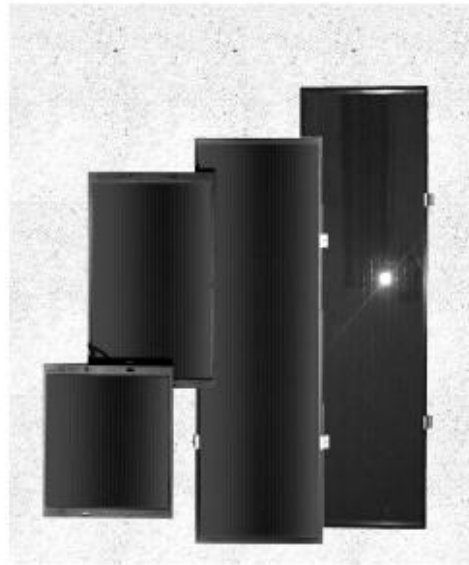
Las capas solares de amorfo silicio producidas por Free Energy Europe funcionan mejor que las de silicio cristalino en condiciones de luz indirecta o parcial. Los tests han demostrado que el output anual de energía es aproximadamente un 15% mayor por cada Vatio pico de potencia nominal.

Rendimiento en el exterior

El funcionamiento de los paneles solares de silicio amorfo en el exterior depende principalmente de su protección contra la corrosión.

Free Energy Europe aplica un marco de polímero inyectado, que supone una gran barrera contra la corrosión. Esta tecnología única ha sido desarrollada por Free Energy Europe.

Esta avanzada tecnología en el ensamblaje hace que nuestros productos sean fiables en el exterior.





FREE ENERGY EUROPE
Características principales

Tipo	FEE-20-12	FEE-14-12	FEE-7-12	FEE-5-12
Tecnología de la capa	Unión tandem de Si amorfo	Unión simple de Si amorfo	Unión simple de Si amorfo	Unión simple de Si amorfo
Tecnología de ensamblaje	5ª generación	4ª generación	4ª generación	4ª generación
Encapsulación	Encapsulación cristal-cristal con marco de polímero inyectado			
Vida útil estimada	> 20 años			
Condiciones operacionales	-40 °C hasta +85 °C			

Parámetros de máxima potencia eléctrica – en Condiciones Estándar de Test*

Tipo	FEE-20-12	FEE-14-12	FEE-7-12	FEE-5-12
Potencia máxima	19 Vatios-pico	14 Vatios-pico	7 Vatios-pico	5 Vatios-pico
Corriente máxima a 16 V	1.18 Amperios	0.87 Amperios	0.43 Amperios	0.29 Amperios
Corriente de cortocircuito	1.45 Amperios	1.05 Amperios	0.52 Amperios	0.35 Amperios
Voltaje de circuito abierto	22.8 Voltios	22.0 Voltios	22.0 Voltios	22.0 Volts

* Los datos se refieren a las Condiciones Estándar de Test, una aproximación a cuando hay irradiación solar plena (ETC: irradiación de 1000W/m², temperatura de la capa de 25°C espectro de AM 1.5). Los parámetros eléctricos medidos pueden oscilar ±10%.

Parámetros eléctricos estables – en Condiciones Estándar de Test*

Tipo	FEE-20-12	FEE-14-12	FEE-7-12	FEE-5-12
Potencia pico estable	16 Vatios-pico	12 Vatios-pico	6.0 Vatios-pico	4.0 Vatios-pico
Corriente a 16 V	0.99 Amperios	0.75 Amperios	0.38 Amperios	0.25 Amperios
Corriente de corto circuito	1.22 Ampere	0.90 Ampere	0.45 Ampere	0.30 Ampere
Voltaje de circuito abierto	22.8 Volts	22.0 Volts	22.0 Volts	22.0 Volts

* Los datos se refieren a las Condiciones Estándar de Test, una aproximación a cuando hay irradiación solar plena (ETC: irradiación de 1000W/m², temperatura de la capa de 25°C espectro de AM 1.5). Los parámetros eléctricos medidos pueden oscilar ±10%.

Parámetros eléctricos estables – en Condiciones Medias de Funcionamiento*

Tipo	FEE-20-12	FEE-14-12	FEE-7-12	FEE-5-12
Potencia pico equivalente	18 Vatios-pico	14 Vatios-pico	6.9 Vatios-pico	4.6 Vatios-pico

* Los datos se refieren a la media real anual de irradiación en Holanda, normalizada por la media de funcionamiento de silicio cristalino. Los datos pueden oscilar ± 10%.

Coefficientes de temperatura

Voltaje	- 0.29% / °C
Corriente	+ 0.08% / °C
Temperatura operacional de la celda	45 °C (a 800 W/m ² , temperatura ambiente: 21 °C)

Dimensiones

Tipo	FEE-20-12	FEE-14-12	FEE-7-12	FEE-5-12
Dimensiones	1015 x 312 mm	930mm x 317 mm	495mm x 317 mm	343mm x 317mm
Grosor	13.9 mm	12.5 mm	12.5 mm	12.5 mm
Peso	4.6 kg	4.1 kg	2.1 kg	1.5 kg

ANEXO B2	CARACTERISTICAS DEL INVERSOR DE CORRIENTE	ANEXO B2-1
<p>Las características Técnicas del Inversor de Corriente se tienen a continuación:</p> <p>Marca: RADIO SACK</p> <p>Modelo: 8A 06</p> <p>Serie: TX-76102</p> <p>Ingreso de Voltaje: 12 VDC Nominal: 11 – 16 VDC</p> <p>Salida de Voltaje: 115 V AC</p> <p>Potencia: 75W Continuos</p> <p>Fabricación: TAIWAN</p>		

ANEXO C

ANEXO C	PLANO MECANICO DEL SISTEMA AUTOMATICO DE SEGUIMIENTO SOLAR	ANEXO C1-1

ANEXO D

FAIRCHILD
SEMICONDUCTOR®

IRF620

Data Sheet

January 2002

5.0A, 200V, 0.800 Ohm, N-Channel Power MOSFET

This N-Channel enhancement mode silicon gate power field effect transistor is an advanced power MOSFET designed, tested, and guaranteed to withstand a specified level of energy in the breakdown avalanche mode of operation. All of these power MOSFETs are designed for applications such as switching regulators, switching convertors, motor drivers, relay drivers, and drivers for high power bipolar switching transistors requiring high speed and low gate drive power. These types can be operated directly from integrated circuits.

Formerly developmental type TA9600.

Ordering Information

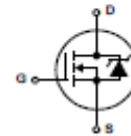
PART NUMBER	PACKAGE	BRAND
IRF620	TO-220AB	IRF620

NOTE: When ordering, use the entire part number.

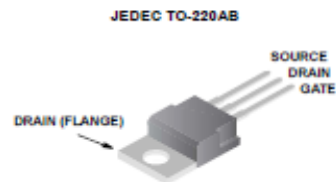
Features

- 5.0A, 200V
- $r_{DS(ON)} = 0.800\Omega$
- Single Pulse Avalanche Energy Rated
- SOA Is Power Dissipation Limited
- Nanosecond Switching Speeds
- Linear Transfer Characteristics
- High Input Impedance
- Related Literature
 - TB334 "Guidelines for Soldering Surface Mount Components to PC Boards"

Symbol



Packaging



ANEXO D

CARACTERISTICAS TECNICAS DEL
TRANSISTOR MOSFET IRF 620

ANEXO D2-5

IRF620

Absolute Maximum Ratings $T_C = 25^\circ\text{C}$, Unless Otherwise Specified

	IRF620	UNITS
Drain to Source Voltage (Note 1)	V_{DS}	200 V
Drain to Gate Voltage ($R_{GS} = 20\text{k}\Omega$) (Note 1)	V_{DGR}	200 V
Continuous Drain Current	I_D	5.0 A
$T_C = 100^\circ\text{C}$	I_D	3.0 A
Pulsed Drain Current (Note 3)	I_{DM}	20 A
Gate to Source Voltage	V_{GS}	± 20 V
Maximum Power Dissipation	P_D	40 W
Linear Derating Factor		0.32 W/°C
Single Pulse Avalanche Energy Rating (Note 4)	E_{AS}	85 mJ
Operating and Storage Temperature	T_J, T_{STG}	-55 to 150 °C
Maximum Temperature for Soldering		
Leads at 0.063in (1.6mm) from Case for 10s	T_L	300 °C
Package Body for 10s, See TB334	T_{pkg}	260 °C

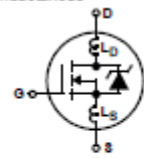
CAUTION: Stresses above those listed in "Absolute Maximum Ratings" may cause permanent damage to the device. This is a stress only rating and operation of the device at these or any other conditions above those indicated in the operational sections of this specification is not implied.

NOTE:

1. $T_J = 25^\circ\text{C}$ to 125°C

Electrical Specifications $T_C = 25^\circ\text{C}$, Unless Otherwise Specified

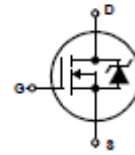
PARAMETER	SYMBOL	TEST CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
Drain to Source Breakdown Voltage	BV_{DSS}	$V_{GS} = 0V, I_D = 250\mu\text{A}$, (Figure 10)	200	-	-	V
Gate Threshold Voltage	$V_{GS(TH)}$	$V_{DS} = V_{GS}, I_D = 250\mu\text{A}$	2.0	-	4.0	V
Zero Gate Voltage Drain Current	I_{DSS}	$V_{DS} = \text{Rated } BV_{DSS}, V_{GS} = 0V$	-	-	25	μA
		$V_{DS} = 0.8 \times \text{Rated } BV_{DSS}, V_{GS} = 0V, T_J = 125^\circ\text{C}$	-	-	250	μA
On-State Drain Current (Note 2)	$I_{D(ON)}$	$V_{DS} > I_{D(ON)} \times r_{DS(ON)MAX}, V_{GS} = 10V$	5.0	-	-	A
Gate to Source Leakage Current	I_{GSS}	$V_{GS} = \pm 20V$	-	-	± 100	nA
Drain to Source On Resistance (Note 2)	$r_{DS(ON)}$	$V_{GS} = 10V, I_D = 2.5A$, (Figures 8, 9)	-	0.8	1.2	Ω
Forward Transconductance (Note 2)	g_{fs}	$V_{DS} > I_{D(ON)} \times r_{DS(ON)MAX}, I_D = 2.5A$ (Figure 12)	1.3	2.5	-	S
Turn-On Delay Time	$t_{d(ON)}$	$V_{DD} = 100V, I_D = 5.0A, R_G = 9.1\Omega, R_L = 20\Omega$, MOSFET Switching Times are Essentially Independent of Operating Temperature	-	20	40	ns
Rise Time	t_r		-	30	60	ns
Turn-Off Delay Time	$t_{d(OFF)}$		-	50	100	ns
Fall Time	t_f		-	30	60	ns
Total Gate Charge (Gate to Source + Gate to Drain)	$Q_g(\text{TOT})$	$V_{GS} = 10V, I_D = 5.0A, V_{DS} = 0.8 \times \text{Rated } BV_{DSS}$, $I_{G(\text{REF})} = 1.5\text{mA}$, (Figure 14)	-	11	15	nC
Gate to Source Charge	Q_{gs}	Gate Charge is Essentially Independent of Operating Temperature	-	5.0	-	nC
Gate to Drain "Miller" Charge	Q_{gd}		-	6.0	-	nC
Input Capacitance	C_{ISS}	$V_{DS} = 25V, V_{GS} = 0V, f = 1\text{MHz}$, (Figure 11)	-	450	-	pF
Output Capacitance	C_{OSS}		-	150	-	pF
Reverse Transfer Capacitance	C_{RSS}		-	40	-	pF
Internal Drain Inductance	L_D	Measured from the Contact Screw on Tab to Center of Die Measured from the Drain Lead, 6mm (0.25in) from Package to Center of Die	-	3.5	-	nH
			-	4.5	-	nH
Internal Source Inductance	L_S	Measured from the Source Lead, 6mm (0.25in) from Header to Source Bonding Pad	-	7.5	-	nH
Thermal Resistance Junction to Case	$R_{\theta JC}$		-	-	3.12	°C/W
Thermal Resistance Junction to Ambient	$R_{\theta JA}$	Free Air Operation	-	-	62.5	°C/W



IRF620

Source to Drain Diode Specifications

PARAMETER	SYMBOL	TEST CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
Continuous Source to Drain Current	I_{SD}	Modified MOSFET Symbol Showing the Integral Reverse P-N Junction Rectifier	-	-	5.0	A
Pulse Source to Drain Current (Note 3)	I_{SDM}		-	-	20	A
Source to Drain Diode Voltage (Note 2)	V_{SD}	$T_J = 25^\circ\text{C}$, $I_{SD} = 5.0\text{A}$, $V_{GS} = 0\text{V}$, (Figure 13)	-	-	1.8	V
Reverse Recovery Time	t_{rr}	$T_J = 150^\circ\text{C}$, $I_{SD} = 5.0\text{A}$, $dI_{SD}/dt = 100\text{A}/\mu\text{s}$	-	350	-	ns
Reverse Recovery Charge	Q_{RR}	$T_J = 150^\circ\text{C}$, $I_{SD} = 5.0\text{A}$, $dI_{SD}/dt = 100\text{A}/\mu\text{s}$	-	2.3	-	μC



NOTES:

2. Pulse test: pulse width $\leq 300\mu\text{s}$, duty cycle $\leq 2\%$.
3. Repetitive rating: pulse width limited by maximum junction temperature. See Transient Thermal Impedance curve (Figure 3).
4. $V_{DD} = 10\text{V}$, starting $T_J = 25^\circ\text{C}$, $L = 6.18\text{mH}$, $R_G = 50\Omega$, peak $I_{AS} = 5\text{A}$.

Typical Performance Curves Unless Otherwise Specified

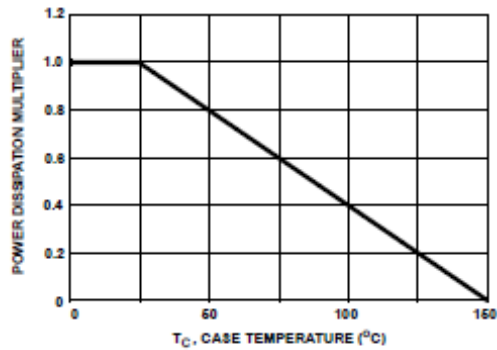


FIGURE 1. NORMALIZED POWER DISSIPATION vs CASE TEMPERATURE

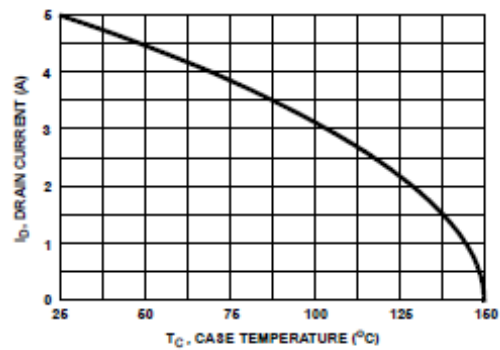


FIGURE 2. MAXIMUM CONTINUOUS DRAIN CURRENT vs CASE TEMPERATURE

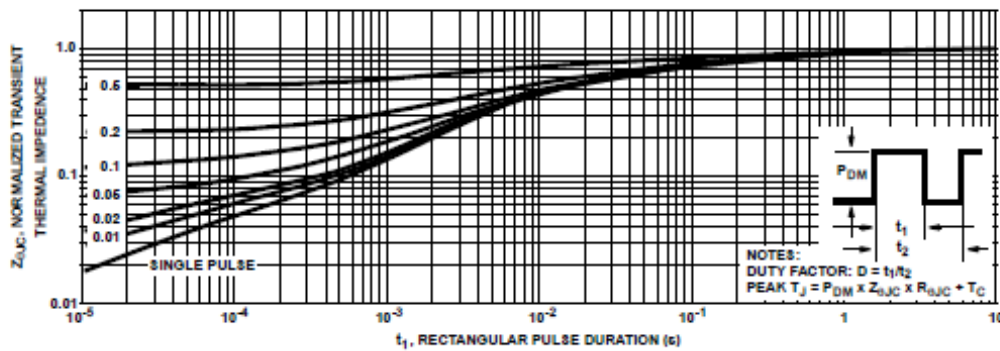


FIGURE 3. NORMALIZED MAXIMUM TRANSIENT THERMAL IMPEDANCE

IRF620

Test Circuits and Waveforms

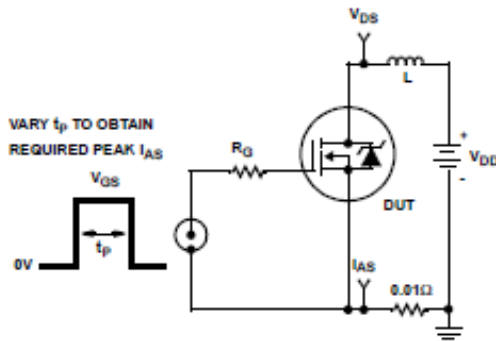


FIGURE 15. UNCLAMPED ENERGY TEST CIRCUIT

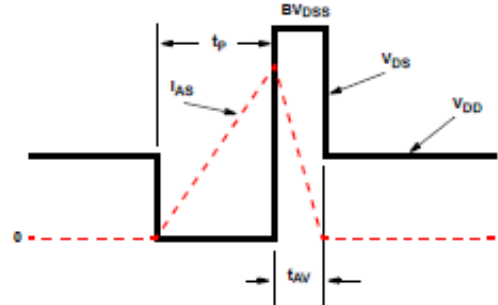


FIGURE 16. UNCLAMPED ENERGY WAVEFORMS

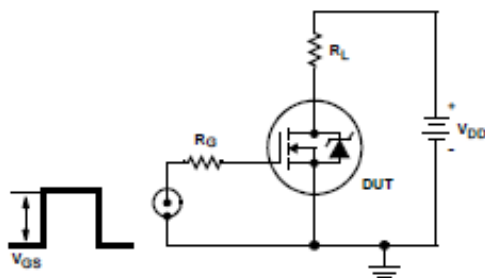


FIGURE 17. SWITCHING TIME TEST CIRCUIT

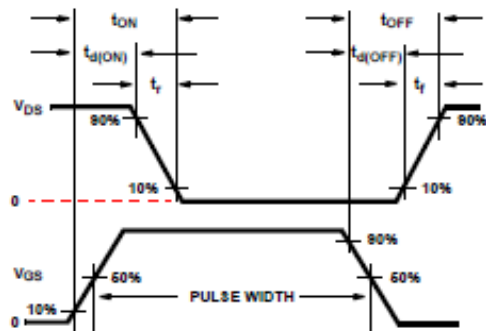


FIGURE 18. RESISTIVE SWITCHING WAVEFORMS

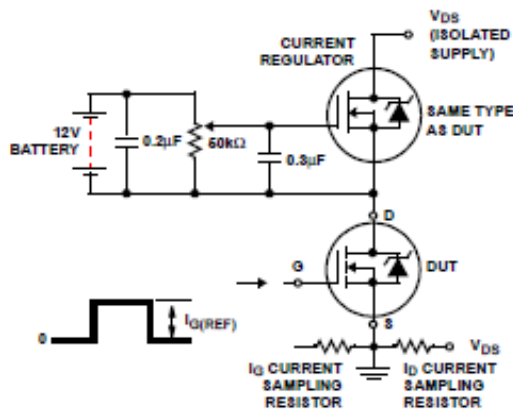


FIGURE 19. GATE CHARGE TEST CIRCUIT

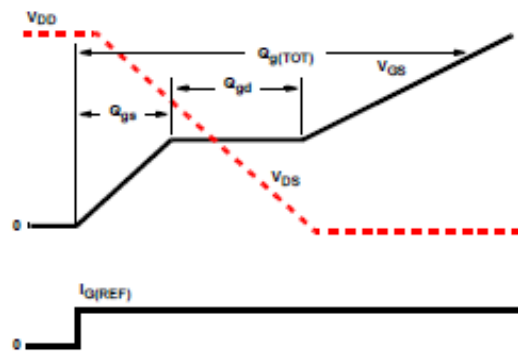


FIGURE 20. GATE CHARGE WAVEFORMS

ANEXO D	CARACTERISTICAS TECNICAS DEL TRANSISTOR MOSFET IRF 620	ANEXO D5-5
----------------	---	-------------------

TRADEMARKS

The following are registered and unregistered trademarks Fairchild Semiconductor owns or is authorized to use and is not intended to be an exhaustive list of all such trademarks.

ACE ^x TM	FAST [®]	OPTOLOGIC TM	SMART START TM	VCX TM
Bottomless TM	FAST ^r TM	OPTOPLANAR TM	STAR*POWER TM	
CoolFET TM	FRFET TM	PACMAN TM	Stealth TM	
CROSSVOLT TM	GlobalOptoisolator TM	POP TM	SuperSOT TM -3	
DenseTrench TM	GTO TM	Power247 TM	SuperSOT TM -6	
DOME TM	HiSeC TM	PowerTrench [®]	SuperSOT TM -8	
EcoSPARK TM	ISOPLANAR TM	QFET TM	SyncFET TM	
E ² CMOS TM	LittleFET TM	QS TM	TinyLogic TM	
EnSigna TM	MicroFET TM	QT Optoelectronics TM	TruTranslation TM	
FACT TM	MicroPak TM	Quiet Series TM	UHC TM	
FACT Quiet Series TM	MICROWIRE TM	SILENT SWITCHER [®]	UltraFET [®]	

STAR*POWER is used under license

DISCLAIMER

FAIRCHILD SEMICONDUCTOR RESERVES THE RIGHT TO MAKE CHANGES WITHOUT FURTHER NOTICE TO ANY PRODUCTS HEREIN TO IMPROVE RELIABILITY, FUNCTION OR DESIGN. FAIRCHILD DOES NOT ASSUME ANY LIABILITY ARISING OUT OF THE APPLICATION OR USE OF ANY PRODUCT OR CIRCUIT DESCRIBED HEREIN; NEITHER DOES IT CONVEY ANY LICENSE UNDER ITS PATENT RIGHTS, NOR THE RIGHTS OF OTHERS.

LIFE SUPPORT POLICY

FAIRCHILD'S PRODUCTS ARE NOT AUTHORIZED FOR USE AS CRITICAL COMPONENTS IN LIFE SUPPORT DEVICES OR SYSTEMS WITHOUT THE EXPRESS WRITTEN APPROVAL OF FAIRCHILD SEMICONDUCTOR CORPORATION. As used herein:

1. Life support devices or systems are devices or systems which, (a) are intended for surgical implant into the body, or (b) support or sustain life, or (c) whose failure to perform when properly used in accordance with instructions for use provided in the labeling, can be reasonably expected to result in significant injury to the user.

2. A critical component is any component of a life support device or system whose failure to perform can be reasonably expected to cause the failure of the life support device or system, or to affect its safety or effectiveness.

PRODUCT STATUS DEFINITIONS

Definition of Terms

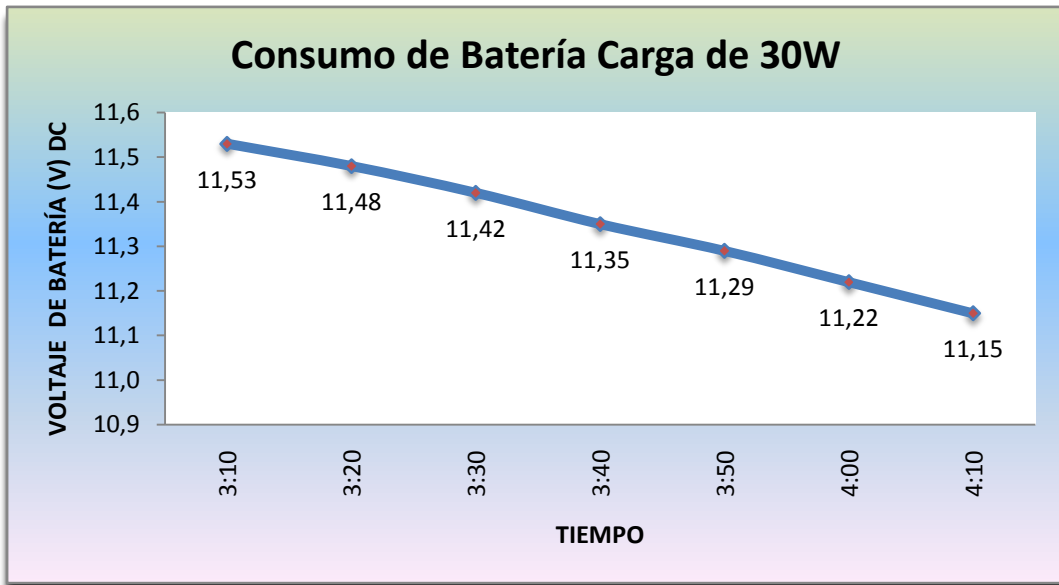
Datasheet Identification	Product Status	Definition
Advance Information	Formative or In Design	This datasheet contains the design specifications for product development. Specifications may change in any manner without notice.
Preliminary	First Production	This datasheet contains preliminary data, and supplementary data will be published at a later date. Fairchild Semiconductor reserves the right to make changes at any time without notice in order to improve design.
No Identification Needed	Full Production	This datasheet contains final specifications. Fairchild Semiconductor reserves the right to make changes at any time without notice in order to improve design.
Obsolete	Not In Production	This datasheet contains specifications on a product that has been discontinued by Fairchild semiconductor. The datasheet is printed for reference information only.

Rev. 104

ANEXO E

DESCARGA DE BATERIA CON CARGA DE 30 W
RADIO GRABADORA 25 W
CARGADOR DE CELULAR 5 W

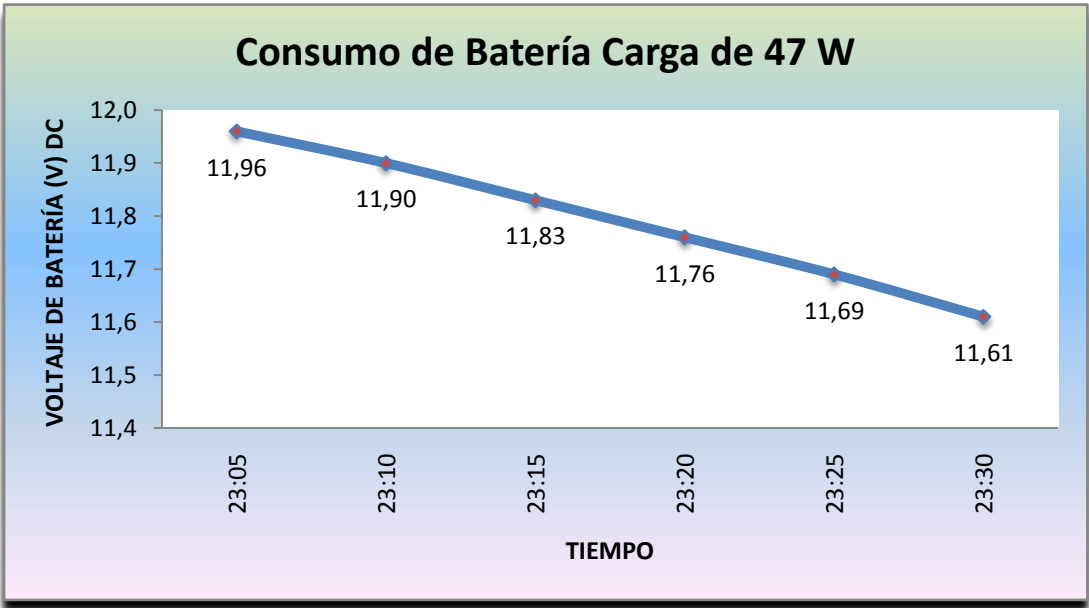
Hora		Voltaje Batería (V) DC		Diferencial
Inicio	Final	Inicial	Final	Voltaje
3:10	3:20	11.53	11.48	0.05
3:20	3:30	11.48	11.42	0.06
3:30	3:40	11.42	11.35	0.07
3:40	3:50	11.35	11.29	0.06
3:50	4:00	11.29	11.22	0.07
4:00	4:10	11.22	11.15	0.07
4:10	4:20	11.15	11.05	0.10



ANEXO E2	PRUEBA CON CARGA DE 47 W	ANEXO E2-2
----------	--------------------------	------------

DESCARGA DE BATERIA CON CARGA DE 47 W
RADIO GRABADORA 25 W
2 FOCOS AHORRADORES DE ENERGIA LUZ BLANCA DE 11 W

Hora		Voltaje Batería (V) DC		Diferencial
Inicio	Final	Inicial	Final	Voltaje
23:05	23:10	12.03	11.96	0.07
23:10	23:15	11.96	11.90	0.06
23:15	23:20	11.90	11.83	0.07
23:20	23:25	11.83	11.76	0.07
23:25	23:30	11.76	11.69	0.07
23:30	23:35	11.69	11.61	0.08



ANEXO F

Digital Multimeter Report

NOTITLE.DAT		Date/Time:28/01/2010 18:15:19			
NO	FUNC	DATA	UNIT	TIME	
1	DC	14.86	V	10:19:13	
2	DC	14.51	V	10:21:13	
3	DC	14.62	V	10:23:13	
4	DC	14.54	V	10:25:13	
5	DC	14.52	V	10:27:13	
6	DC	14.52	V	10:29:13	
7	DC	16.13	V	10:31:13	
8	DC	15.11	V	10:33:13	
9	DC	15.99	V	10:35:13	
10	DC	14.95	V	10:37:13	
11	DC	14.32	V	10:39:13	
12	DC	14.37	V	10:41:13	
13	DC	14.49	V	10:43:13	
14	DC	14.61	V	10:45:13	
15	DC	16.03	V	10:47:13	
16	DC	15.91	V	10:49:13	
17	DC	15.85	V	10:51:13	
18	DC	15.75	V	10:53:13	
19	DC	15.77	V	10:55:13	
20	DC	15.71	V	10:57:13	
21	DC	15.71	V	10:59:13	
22	DC	15.75	V	11:01:13	
23	DC	15.79	V	11:03:13	
24	DC	15.81	V	11:05:13	
25	DC	14.49	V	11:07:13	
26	DC	14.83	V	11:09:13	
27	DC	14.82	V	11:11:13	
28	DC	16.06	V	11:13:13	
29	DC	14.52	V	11:15:13	
30	DC	14.62	V	11:17:13	
31	DC	16.03	V	11:19:13	
32	DC	15.89	V	11:21:13	
33	DC	15.83	V	11:23:13	
34	DC	15.82	V	11:25:13	
35	DC	15.95	V	11:27:13	
36	DC	14.45	V	11:29:13	
37	DC	14.48	V	11:31:13	
38	DC	14.65	V	11:33:13	
39	DC	15.73	V	11:35:13	
40	DC	16.08	V	11:37:13	
41	DC	14.69	V	11:39:13	
42	DC	14.68	V	11:41:13	
43	DC	15.23	V	11:43:13	
44	DC	16.08	V	11:45:13	

ANEXO F1	Mediciones de Voltaje del Panel – Cielo Nublado Efectuadas con el Multímetro Pro'sKit 3PK-343	ANEXO F2-2
----------	--	------------

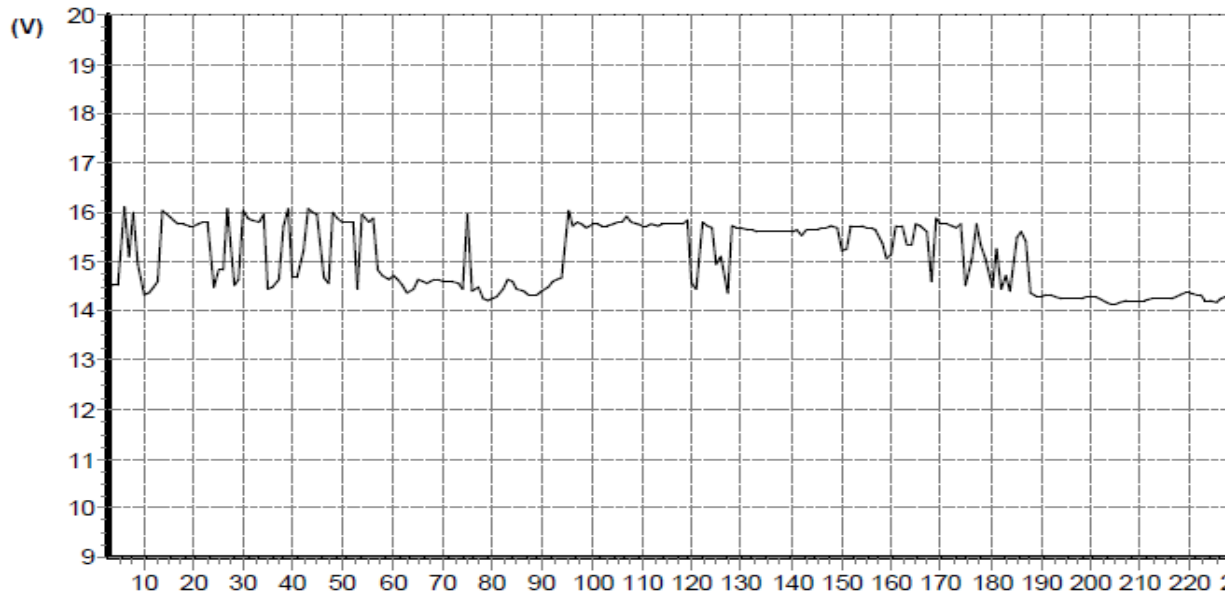
Digital Multimeter Report

NOTITLE.DAT Date/Time:28/01/2010 18:15:19

NO	FUNC	DATA	UNIT	TIME
265	DC	13.62	V	17:49:10
266	DC	13.61	V	17:50:10
267	DC	13.60	V	17:51:10
268	DC	13.56	V	17:52:10
269	DC	13.49	V	17:53:10
270	DC	13.40	V	17:54:10
271	DC	13.27	V	17:55:10
272	DC	13.19	V	17:56:10
273	DC	13.14	V	17:57:10
274	DC	13.08	V	17:58:10
275	DC	12.92	V	17:59:10
276	DC	12.61	V	18:00:10
277	DC	12.09	V	18:01:10
278	DC	11.59	V	18:02:10
279	DC	11.43	V	18:03:10
280	DC	11.38	V	18:04:10
281	DC	11.34	V	18:05:10
282	DC	11.28	V	18:06:10
283	DC	11.21	V	18:07:10
284	DC	11.09	V	18:08:10
285	DC	10.87	V	18:09:09
286	DC	10.82	V	18:09:24
287	DC	10.09	V	18:09:39
288	DC	11.08	V	18:09:54
289	DC	11.02	V	18:10:09
290	DC	10.95	V	18:10:24
291	DC	10.88	V	18:10:39
292	DC	10.80	V	18:10:54
293	DC	10.72	V	18:11:09
294	DC	10.63	V	18:11:24
295	DC	10.57	V	18:11:39
296	DC	10.49	V	18:11:54
297	DC	10.43	V	18:12:09
298	DC	10.35	V	18:12:24
299	DC	10.30	V	18:12:39
300	DC	10.24	V	18:12:54
301	DC	10.19	V	18:13:09
302	DC	10.15	V	18:13:24

Digital Multimeter Report

DC V_Ra
Min : 0V ~ M



ANEXO G

ANEXO G	Imágenes del Proyecto Sistema de Seguimiento Automático del Sol para Optimizar la Captación de Energía en Celdas Fotovoltaicas	ANEXO G1-3
----------------	---	-------------------



Vista Frontal del Módulo



Vista Posterior

ANEXO G	<p align="center">Imágenes del Proyecto Sistema de Seguimiento Automático del Sol para Optimizar la Captación de Energía en Celdas Fotovoltaicas</p>	ANEXO G2-3
---------	---	------------



Placa con Instrumentos de Medición y Alimentación



Amperímetro-Fusibles de Protección y Reset Master Clear

ANEXO G	Imágenes del Proyecto Sistema de Seguimiento Automático del Sol para Optimizar la Captación de	ANEXO G3-3
---------	--	------------

Energía en Celdas Fotovoltaicas

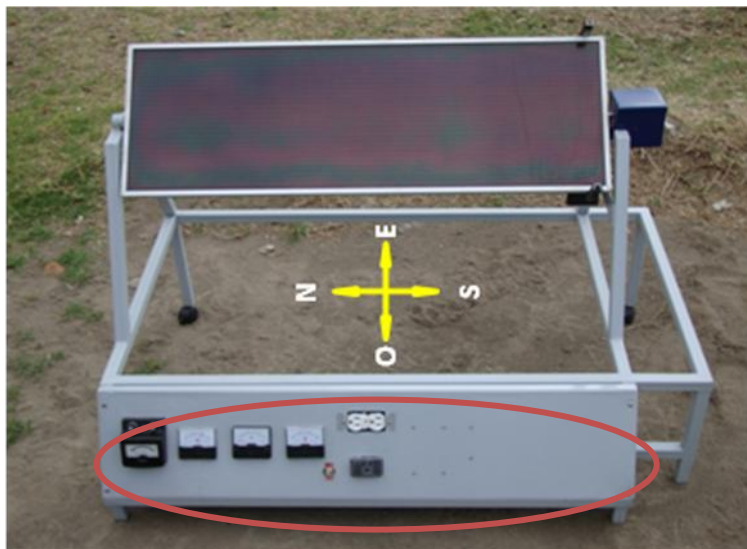


Amperímetro Carga – Voltímetro de Batería – Switch de Alimentación al Sistema de Alimentación

ANEXO H

ANEXO H	FUNCIONAMIENTO DEL EQUIPO Y SOLUCION DE PROBLEMAS	ANEXO H1-3
---------	--	------------

1. Para que el equipo se encuentre listo y comenzar el seguimiento automático, debe encontrarse en la disposición que se observa en la Figura, direccionando hacia el Oeste la placa que soporta los elementos de medición.



Posicionamiento del Equipo antes de efectuar el seguimiento solar

2. Lleve la palanca del Switch de apertura/cierre de alimentación hacia la posición ON, en ese momento el programa en el Microcontrolador tarda un tiempo de 15 segundos y comienza la etapa de posicionamiento y búsqueda de la mayor incidencia solar en cualquiera de los Fotosensores.



Switch de apertura/cierre alimentación al Sistema

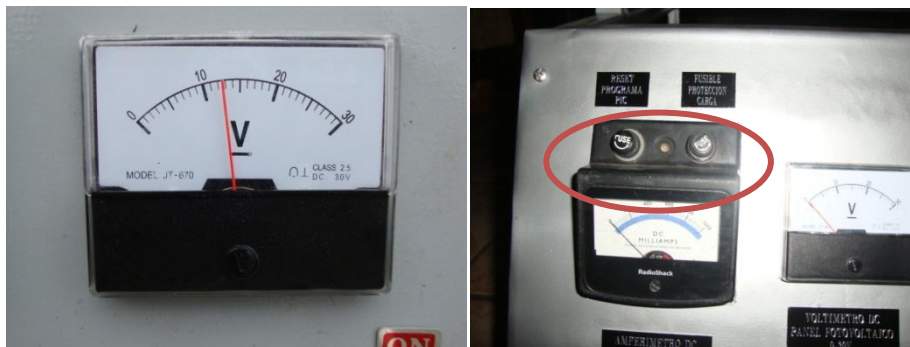
ANEXO H	FUNCIONAMIENTO DEL EQUIPO Y SOLUCION DE PROBLEMAS	ANEXO H2-3
----------------	--	-------------------

3. Si al transcurrir el tiempo de búsqueda y el equipo no responde, se debe proceder a efectuar un Reset del Master Clear Externo, el mismo que tiene un pequeño pulsador ubicado en la parte superior Izquierda del Amperímetro y ayuda a restablecer el programa de control del equipo a través del Microcontrolador.



Pulsador para Reset Externo y Fusibles de Protección

4. Si al conectar una carga y ésta no funciona, proceda a verificar en primera instancia si existe el voltaje suficiente en la Batería, el voltímetro de la batería debe marcar por encima de los 11 voltios, otra manera que brinda el sistema es a través de la luz Verde que mantiene el LED que se encuentra contenido en la parte superior del Amperímetro.



5. **Voltímetro y Led indicativo de Voltaje en la Batería**

6. De encontrarse normal el voltaje de batería y no funcionan las cargas conectadas, puede existir una falla en los fusibles de protección, revise y cambie de ser necesario. Éstos se encuentran dispuestos en el Amperímetro.

ANEXO H	FUNCIONAMIENTO DEL EQUIPO Y SOLUCION DE PROBLEMAS	ANEXO H3-3
----------------	--	-------------------

7. De no tener éxito puede existir un problema en el Inversor de Corriente, este tiene un fusible de Protección en la Parte Interna, revise y cambie de ser necesario.



Ubicación del Fusible de Protección del Inversor

8. Antes de conectar la carga, familiarícese con los valores de Potencia y Tiempo de abastecimiento de la batería, la misma que se observa en la placa frontal del equipo.

ANEXO I

ANEXO I	MANUAL DE ACUMULADORES DE ENERGIA Y SISTEMAS FOTOVOLTAICOS DOMICILIARIOS	ANEXO I



Acumuladores de plomo-ácido sellados, regulados por válvula (SVR) y electrolito gelado

MK Battery and American Workshop

Introducción

La tecnología de gel sellado (llamada tecnología de "celda de gel") fue desarrollada hace algunos años. A través del tiempo el acumulador de gel evolucionó y se desarrolló hasta ser el acumulador de elección para los diseñadores de sistemas exigentes, ingenieros de aplicaciones y usuarios sofisticados.

En 1991, nuestra fábrica comenzó a producir acumuladores de gel usando tecnología probada y comprobada, respaldados con más de 50 años de experiencia. Nuestros exclusivos conocimientos de manufactura auxiliada con cómputo y nuestra integración vertical han creado un producto que se reconoce como el **acumulador de gel de la máxima calidad, y mayor duración que se consigue en la actualidad.**

Aplicaciones

Las celdas de gel se pueden usar (con un buen cargado) en casi cualquier aplicación de celda húmeda inundada con electrolito, así como en aplicaciones donde estas últimas celdas no pueden usarse. Debido a sus propiedades y ventajas únicas, las celdas de gel se adaptan especialmente bien para:

Aplicaciones de ciclo profundo y descarga profunda

- Troles marinos
- Vehículos eléctricos
- Fuentes portátiles
- Transportes personales
- Aplicaciones comerciales con ciclo profundo
- Electrónica
- Sillas de ruedas
- Lavadoras de pisos
- Energía para centrales marinas
- Casas rodantes
- Botes de vela
- Carritos de golf

Aplicaciones de respaldo de reserva y emergencia

- UPS (respaldos o no-break)
- Respaldo de computadoras
- Conmutación telefónica
- Alumbrado de emergencia
- TV de cable

Aplicaciones extraordinarias y rigurosas

- Coches de carreras
- Vehículos fuera de carretera
- Arrancadores marinos
- Equipo aerotransportado
- Ambientes húmedos
- Arrancadores diesel y de combustión interna

¿Qué es una celda de gel?

Una celda de gel es un acumulador eléctrico plomo-ácido que:

- está a presión y sellado, que usa válvulas especiales y en consecuencia que **nunca se debe abrir.**
- no requiere ningún mantenimiento*.
- Usa un electrolito gelado tixotrópico.
- usa la técnica de "recombinación" para sustituir el oxígeno y el hidrógeno que normalmente se pierden en un acumulador mojado, en especial en aplicaciones con ciclo profundo.
- no se derrama y en consecuencia puede trabajar en casi cualquier posición. Sin embargo, no se recomienda su instalación de cabeza.

* Periódicamente se deben apretar las conexiones y limpiar los acumuladores.

¿Cómo funciona una celda de gel?

Una celda de gel es un acumulador "recombinante". Esto quiere decir que el oxígeno que normalmente se produce en la placa positiva de todos los acumuladores de plomo-ácido se recombina con el hidrógeno emitido por la placa negativa. La "recombinación" del hidrógeno y el oxígeno produce agua (H₂O), que reemplaza la humedad en el acumulador. En consecuencia, el acumulador no necesita mantenimiento, porque nunca necesita que le rellenen el agua.

El oxígeno queda atrapado en la celda, que usa respiraderos especiales de sello, a presión. Emigra hasta la placa negativa a través de diminutas fisuras o grietas en el electrolito gelado.

El respiradero sellado es fundamental en el funcionamiento de la celda de gel. Esta celda debe mantener una presión interna positiva, de lo contrario no se hace la recombinación de los gases, la celda se secaría y no funcionaría.

Además, la válvula debe liberar con seguridad todo exceso de presión que se pueda producir al cargarla demasiado. Si no fuera así, la celda se dañaría en forma irreparable.

Es importante observar que nunca debe abrirse una celda de gel una vez que sale de su fábrica. Si se abre, pierde su presión y el aire ambiente "envenenará" a las placas y causará un desequilibrio que anula la química de la recombinación.

Es la razón del nombre: acumulador **sellado** regulado con válvula (SVR).

¿Qué diferencia hay entre los acumuladores de celda de gel y los de "electrolito agotado"?

Los dos son acumuladores recombinantes; los dos son sellados y regulados con válvula.

La principal diferencia es que el acumulador de "electrolito agotado" o de "electrolito absorbido" contiene cierta cantidad de electrolito líquido que se le agrega en la fábrica, que moja los separadores especiales. En consecuencia, no se puede derramar, porque todo el electrolito líquido está atrapado en un material separador semejante a la esponja. No hay electrolito "libre" que se derrame, si se inclina o se perfora el acumulador.

Debido a esta condición de "ácido agotado", esta clase de acumuladores no suele funcionar bien en aplicaciones rudas de descarga profunda. La celda de gel tiene disponible más electrolito y en consecuencia es más adecuada para las aplicaciones de descarga profunda, y puede aceptar sobrecarga ocasional.

¿Cuál es la diferencia entre la celda de gel y los acumuladores tradicionales con líquido?

Las celdas con líquido no tienen respiraderos especiales a presión, porque no funcionan con el principio de recombinación. Contienen electrolito líquido que puede causar corrosión y derrames si se voltean o se agujera. En consecuencia no son transportables por avión sin tener recipientes especiales. No se pueden mandar por UPS o por paquetería, ni se pueden usar cerca de equipos electrónicos sensibles. Sólo se pueden instalar "derechos". Las celdas con líquido pierden capacidad y se dañan en forma permanente si:

- se dejan descargadas durante cualquier cantidad de tiempo (por la sulfatación). Esto aplica especialmente para los tipos de antimonio e híbridos.
- continuamente se descargan en exceso, debido al desprendimiento continuo de material. Esto incluye a las celdas con líquido diseñadas especialmente para ciclo profundo, y también aplica especialmente para los acumuladores automotrices.

También, las celdas con antimonio y líquido, para ciclo profundo, tienen la séptima parte de duración en almacén.

Nuestras celdas de gel tienen el triple de duración que las de aleación de antimonio y líquido, debido a su diseño exclusivo.

¿Cómo se recargan las celdas de gel?

¿Hay que tener algunas precauciones especiales?

Si bien nuestra celda de gel acepta una carga muy bien, debido a su baja resistencia interna, **cualquier** acumulador se daña si en forma continua se carga demasiado o si le falta carga. Se reduce su capacidad y se acorta su duración.

La sobrecarga es dañina especialmente para las celdas de gel, debido a su diseño cerrado. La sobrecarga seca el electrolito, porque el oxígeno y el hidrógeno son expulsados del acumulador por las válvulas de respiradero de seguridad. Se reducen la eficiencia y la duración.

Si a un acumulador le falta carga en forma continua, se acumula una capa de sulfato, consumidora de energía, sobre la placa positiva, y funciona como barrera al flujo de los electrones. También puede presentarse desprendimiento prematuro de la placa. Se reduce la eficiencia y se acorta la duración.

En consecuencia, **es fundamental usar un cargador que limite el voltaje a no más de 14.1 voltios y no menos de 13.8 voltios, a 68 °F (20 °C)**. Los acumuladores que se usan en sistema flotante se deben cargar a 13.8 voltios. Para el servicio en ciclo profundo, se debe usar un voltaje máximo de 14.1 V. El cargador debe tener corrección por temperatura para evitar falta de carga o sobrecarga causadas por cambios de temperatura ambiente. (Véase la gráfica Voltaje de carga en función de Temperatura ambiente, en la página 11.)

Instrucciones importantes en la carga

La garantía se anula si la carga es incorrecta. Úsese un buen cargador de potencial constante, con corrección por temperatura y regulado por voltaje. Cargue las celdas de gel hasta 13.8 voltios cuando menos, **pero no a más de 14.1 voltios a 68 °F (20 °C)**. Para las celdas de gel nunca se deben usar cargadores de corriente constante.

¿Se pueden instalar celdas de gel en cajas selladas de acumulador?

¡NO! Nunca instale clase alguna de acumulador en un recipiente totalmente sellado. Aunque los gases normales (oxígeno e hidrógeno) que se producen en un acumulador de gel se recombinan sin escapar, como se describió arriba, el oxígeno y el hidrógeno escaparán del acumulador si hay sobrecarga (como sucede en cualquier acumulador).

Por seguridad, esos gases, que son potencialmente explosivos, deben dejarse ventilar a la atmósfera, y **¡nunca deben encerrarse en una caja de acumulador herméticamente sellada, o en un espacio encerrado herméticamente!**

¿Puede usarse también nuestro acumulador de gel como fuente de arranque?

Nuestra celda de gel funciona en aplicaciones SLI (arranque, alumbrado e ignición), siempre y cuando se regule el voltaje entre 13.8 y 14.1 voltios a 68 °F (20 °C). La mayor parte de los reguladores en los vehículos se ajustan a más de 14.1 voltios. En consecuencia, el sistema de carga **se debe ajustar** al acumulador, para recargarlo bien y obtener la máxima eficiencia y la mayor duración.

¿Qué significan las capacidades y las especificaciones para esta línea?

Todos los valores nominales son para **después de 15 ciclos** y se apegan a las especificaciones del BCI.

CCA = Amperes de arranque en frío a 0 °F (-17.8 °C)

Los amperes de arranque en frío equivalen a la cantidad de amperes que entrega un acumulador nuevo, totalmente cargado, a 0 °F (-17.8 °C) durante treinta segundos de descarga, manteniendo al menos 1.2 voltios por celda (7.2 voltios para un acumulador de 12 voltios).

CA = Amperes de arranque a 32 °F (0 °C)

Igual que el anterior, medidos a 32 °F (0 °C). (Nota: todos los valores de arranque son lineamientos. Los acumuladores de gel están diseñados ante todo para servicio cíclico.)

RC = Capacidad de reserva a 80 °F (27 °C)

La capacidad de reserva es el tiempo, en minutos, que puede descargarse continuamente un acumulador nuevo y totalmente cargado, a 25 A de corriente, manteniendo al menos 1.75 voltios por celda (10.5 voltios para un acumulador de 12 voltios).

Minutos de descarga a 50, 25, 15, 8 y 5 amp

Los minutos de descarga es el tiempo, en minutos, durante el cual un acumulador nuevo y totalmente cargado entrega corriente con los distintos valores, manteniendo al menos 1.75 voltios por celda. Son capacidades nominales o promedio.

Capacidad en amperes hora a tasas de 20, 6, 3 y 1 hora

La capacidad en amperes hora es una unidad de medida calculada multiplicando la corriente en amperes por el tiempo en horas, para que una celda se descargue hasta 1.75 volt. (Son capacidades nominales o promedio.)

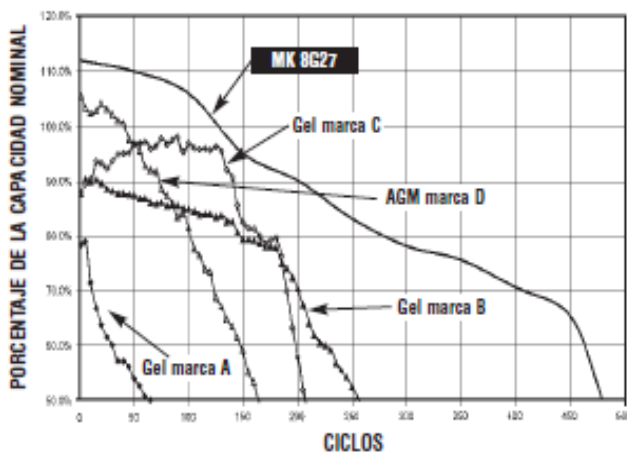
EJEMPLO

10 amp durante 20 hr (10 x 20) = 200 Ah a tasa de 20 horas
8 amp durante 3 hr (8 x 3) = 24 Ah a tasa de 3 horas
30 amp durante 1 hr (30 x 1) = 30 Ah a tasa de 1 hora

En consecuencia, si su aplicación requiere tomar 17 A durante 3 horas, necesitaría un acumulador de 51 Ah (a tasa de 3 hr)...(17 x 3 = 51). Sin embargo, los 51 amperes hora entregados es el 100% de la capacidad de este acumulador de 51 Ah.

La mayoría de los diseños de sistema especifican un acumulador que entregue **como mínimo el doble de la potencia requerida.**

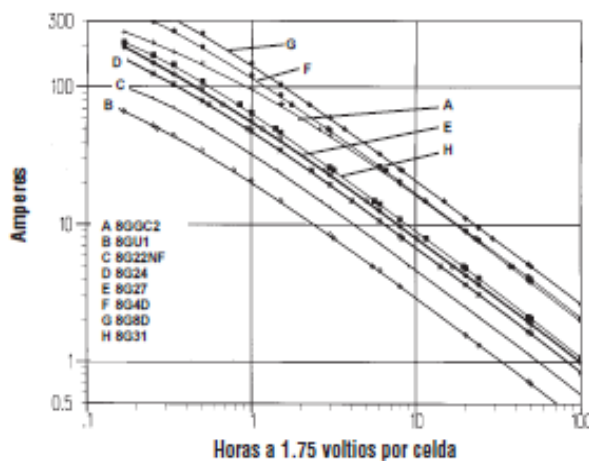
Eso quiere decir que el acumulador se descarga hasta el 50% de su capacidad. Si se usa una descarga de 50% de profundidad (en comparación con 80% o 100%), se aumentará en forma muy importante la duración de cualquier acumulador. En consecuencia, cuando trate de especificar un acumulador para un sistema, escoja uno que tenga el doble de la capacidad necesaria, para tener una eficiencia óptima. Si se requieren 50 Ah, especifique un acumulador de 100 Ah, cuando menos.



GRÁFICA A
Pruebas B.C.I. de duración E.V. en un laboratorio independiente

MK Gel 27 comparados con otros 27 sellados y regulados con válvula (de gel y AGM)

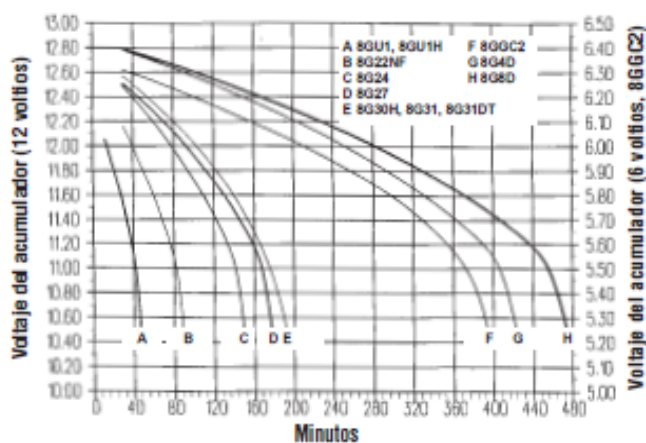
Esta gráfica demuestra la **mayor duración** de nuestro diseño de celda, comparado con otros acumuladores equivalentes.



GRÁFICA B
Capacidades de la línea de gel

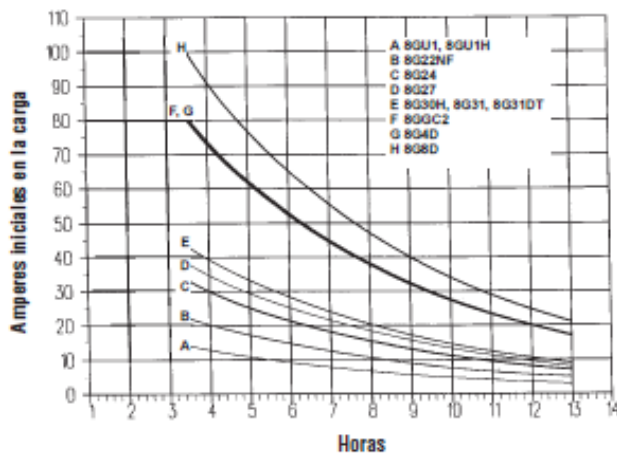
Esta gráfica sirve para determinar cuánto tiempo funcionará un acumulador (hasta bajar a 10.5 voltios) con distintas cargas. Por ejemplo, si quiere usted saber cuánto funcionará el acumulador 8GU1 con una carga de 10 amp., vea 10 A en el eje vertical, cruce hasta la curva y lea abajo, como en el siguiente ejemplo:

El 8GU1 funcionará 2.5 horas a 10 A, hasta llegar a 1.75 voltios por celda.



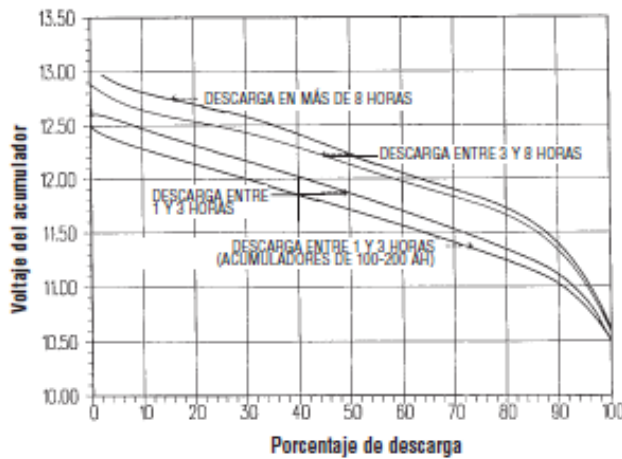
GRÁFICA C
Capacidad de reserva en gel
Descarga a 25 A

Esta gráfica muestra las curvas de descarga (voltajes) a 25 A. El corte es 10.5 voltios.

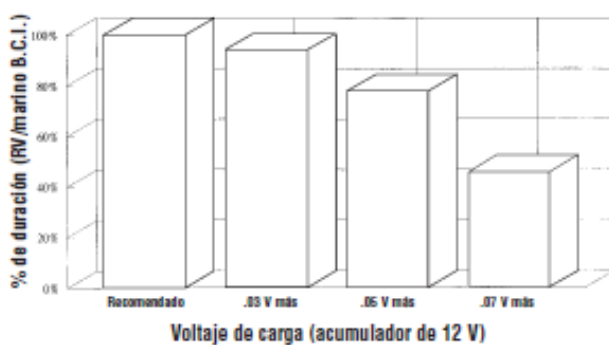


GRÁFICA D
Horas de carga en función de amperes iniciales de carga
Carga a 2.3 voltios por celda

Esta gráfica muestra cuántos amperes de carga se necesitaría para cargar una celda de gel desde 100% descargada hasta 90% de la carga total, a 2.3 voltios por celda y a 68 °F (20 °C). Por ejemplo, un acumulador 8G8D tardaría 3.5 horas a 100 amperes; 6 horas a 65 amperes o 13 horas a 20 amperes de corriente de carga.



GRÁFICA E
Capacidad de un acumulador de gel
Voltaje en función del porcentaje de descarga



GRÁFICA F
Porcentaje de duración en función de voltaje de carga

Esta gráfica muestra el efecto de sobrecargar un acumulador de celda de gel. (Por ejemplo, si se carga en forma consistente a 0.7 voltios más que el valor recomendado, la duración se reduce casi en 60%).

¿Cuales son las propiedades y las ventajas que hacen que el acumulador de gel de MK Battery sea único?

Conocimientos de MK

Fabricamos acumuladores de gel con las normas más estrictas. Nuestro método se caracteriza con controles mejorados de proceso que usan computadoras muy avanzadas y la última tecnología de manufactura y equipos. En consecuencia, las celdas de gel que producimos cumplen con las máximas normas de calidad, eficiencia y duración en forma consistente.

A prueba de derrames y fugas

Una gran ventaja de las celdas de gel es que son a prueba de derrames y fugas. No todas las celdas de gel son iguales en su facilidad de evitar derrames. Algunos geles no fraguan en forma adecuada; permanecen líquidos y pueden derramarse o fugarse.

Sin embargo, nuestro exclusivo gel tixotrópico se formula, mezcla y controla para asegurar un "fraguado" adecuado en cada uno de nuestros acumuladores. Nuestro equipo de mezclado y llenado de gel, controlado por computadora, asegura la homogenización de la mezcla.

Con esto se asegura un acumulador de gel que no se derrame ni tenga fugas. Esta propiedad permite que nuestra celda de gel funcione casi en cualquier posición. Sin embargo, no recomendamos orientarla boca abajo. Todo acumulador de gel que se instale así en forma permanente puede perder un 10% de su capacidad.

Válvula de sello ultrapremium

Una propiedad crítica de cualquier acumulador SVR, gelado o absorbido, es la calidad de la válvula de sello. Esa válvula no sólo debe mantener la celda a presión, y dejar salir el exceso de presión y gases en sobrecargas, sino también debe evitar que la celda se contamine con la atmósfera. La contaminación con oxígeno descarga con rapidez a las celdas de gel y destruye el acumulador.

Nuestras válvulas son aprobadas por UL y se prueban 100% después de fabricarlas. Se vuelven a probar después de instalarlas en cada acumulador. La ventaja obtenida es un **funcionamiento fiable y larga duración**.

Fórmula exclusiva del gel

El electrolito gelado es otro punto crítico en esta clase de acumulador. El nuestro contiene ácido sulfúrico, sílice sublimada, agua pura, desmineralizada y desionizada y aditivo de ácido fosfórico. El ácido fosfórico es la clave de que nuestros acumuladores proporcionen una **duración de ciclo de 4 a 10 veces mayor** que las de nuestros principales competidores en gel, y 3 veces más larga que las celdas tradicionales con líquido.

Protección en descarga profunda

Nuestro diseño de acumulador de gel no permite una descarga profunda autodestructiva. Así se evita que el acumulador "se ponga en reversa", causando el acortamiento de la duración y el desprendimiento de placas. En consecuencia, nuestro diseño "de limitación especial" **prolonga en forma muy considerable los ciclos de duración**: 4 veces más que otras celdas de gel y 10 veces más que las celdas convencionales con líquido. La ventaja es un menor costo de reemplazo del acumulador.

Mezclado exclusivo y computarizado del gel

Un buen mezclado del gel es crítico para la duración y la eficiencia. La inconsistencia en el mezclado equivale a fiabilidad inconsistente. Hemos diseñado y construido la instalación más novedosa y moderna para fabricación de acumuladores en el mundo. Un ejemplo es nuestra operación patentada de mezclado computarizado de gel.

Nuestra fórmula exclusiva se mezcla con control por computadora en todas las etapas del proceso. **El control por computadora produce mejor e inigualada consistencia del desempeño de la celda de gel.**

Nuestro proceso con temperatura controlada y equipo de diseño especial asegura un gel homogéneo. Es importante observar que nuestro equipo fue diseñado por nuestros técnicos, específicamente para mezclar geles ... hasta en los límites del fondo de tanques y en los lugares de los tubos de alimentación. **Ningún otro fabricante de acumuladores tiene equipo que se le compare.**

Operación de llenado y evacuación en varias etapas

La mayoría de los demás fabricantes llenan sus celdas de gel en un proceso de una etapa, haciendo vibrar al acumulador con la esperanza de desprender todas las bolsas de aire. Este sistema no es perfecto y deja huecos con aire en la crítica interfaz entre gel y placa. Estos huecos no reaccionan y reducen la eficiencia general del acumulador.

Nuestro proceso llena y hace vacío en cada celda varias veces. Este proceso de varios pasos asegura la evacuación completa del aire y una **interfaz completa entre gel y placa**. Nuestro proceso computarizado pesa también cada acumulador antes y después de llenarlo, como comprobación de que los niveles del gel son correctos. La ventaja es **más potencia por kilogramo de acumulador**.

Placas formadas en el tanque

Somos el **único** fabricante nacional que usa formulación de tanque para activar las placas del acumulador. Este proceso **garantiza una placa totalmente formada y con voltaje igualado**. El manejo adicional de las placas permite tener un paso adicional de inspección en el proceso, para verificar la calidad de la placa.

Separadores ultrapremium, con aislamiento doble de colchoneta de vidrio

Otro componente crítico es el separador, que aísla la placa positiva de la negativa. Debe permitir un flujo máximo de electrones entre las placas para tener eficiencia máxima. La falla de los separadores es la causa principal de las reclamaciones en garantía, y de la insatisfacción del cliente.

Usamos **separadores grado ultrapremium** en nuestras celdas de gel. Creemos que este costo (de 5 a 6 veces mayor que los de otros tipos) vale la pena para obtener las ventajas de mayor duración y eficiencia.

- Las colchonetas de fibra de vidrio se incrustan en la superficie de las placas, funcionando como las varillas de refuerzo en el concreto. Este refuerzo adicional asegura el material activo sobre la placa, y se obtiene mayor duración y mayor eficiencia.
- Los separadores ultralimplos no tienen contaminación con aceite u otras impurezas. En consecuencia, **la resistencia eléctrica es baja y la eficiencia del acumulador es alta**.
- Su excelente porosidad permite el máximo flujo de electrones, que equivale a **más potencia por kilogramo**.
- La mayor resistencia a la oxidación reduce en forma muy considerable la falla de los separadores, con lo cual **se aumenta la duración**.
- Nuestros separadores son **especialmente adecuados para acumuladores de gel**, mientras que otros están usando separadores diseñados para acumuladores automotrices con celdas con líquido.

Sellos exclusivos de soldaduras entre particiones

Una de las causas de la descarga propia en los acumuladores es la corriente eléctrica diminuta que pasa entre cada celda, por la partición en el área de soldadura. Esta corriente acelera la descarga de los acumuladores cuando no se usa.

Detenemos esta corriente usando un **sello** o empaquetadura **exclusiva de la soldadura**. Esta propiedad **reduce la descarga propia en forma muy considerable** a menos del 3% por mes: es la mínima rapidez de descarga de cualquier fabricante de acumuladores, y es varias veces menor que en muchos acumuladores convencionales!

Rejillas de aleación exclusiva patentada de plomo con calcio y cobre

Esta aleación exclusiva permite **mayor duración en almacenamiento, más potencia por kilogramo y mayor resistencia a la corrosión**. Al usar refinadores especiales de grano podemos **mejorar la eficiencia y la duración en forma muy considerable**.

Diseño de rejilla para uso rudo con estilo para motores eléctricos

Mientras que otros fabricantes recortan los costos usando rejillas estilo automotriz, nosotros usamos una rejilla de alto rendimiento, para gel con ciclo profundo. Este diseño de rejilla para trabajo rudo se parece al de la rejilla de los acumuladores para motores eléctricos.

Las robustas "barras de potencia" que se diseñan en nuestras rejillas no sólo aprisionan al material activo sobre la rejilla, sino también funcionan como "barras" o "buses" que recolectan y dirigen la energía hacia las terminales. La ventaja es **más potencia por kilogramo del acumulador para el equipo de usted, y mayor duración del acumulador**.

Maquinado de zapatas de placas múltiples

Para nuestra calidad superior, de "colado sobre abrazadera", son críticas las zapatas lustrosas y bien fresadas. Cada una de nuestras zapatas de placa se maquina en forma automática **para asegurar el flejado de la máxima calidad**, sin placas flojas ni caídas. A continuación, nuestras zapatas se recubren con fundente y se estañan automáticamente para **aseguramiento adicional de la calidad**.

Abrazaderas de placa más robustas

Usamos una aleación **exclusiva**, de plomo y estaño, en una sola operación, aunque en varias etapas, de colado sobre la abrazadera. El resultado son abrazaderas más robustas con un **tejido de zapata a abrazadera**. Con esto se eliminan las placas caídas y flojas y así se mejoran la **eficiencia y la duración**.

Envoltura del elemento en poliéster

Otra causa de las fallas en los acumuladores con ciclo profundo es la "formación de musgo". Este fenómeno se presenta en la edad avanzada del acumulador, cuando el material activo positivo realmente se desarrolla en torno a la orilla del separador y finalmente "hace corto" contra la placa negativa. Con esto termina la vida de servicio del acumulador.

Para evitar la formación de musgo usamos una **hoja especial de fibra de poliéster** envuelta en torno a la orilla de cada elemento, parecida a la envoltura de un acumulador industrial. El resultado es **mayor duración en servicio**.

Postes y bujes forjados exclusivos

Los postes "negros" y los acumuladores contaminados con oxígeno se deben con frecuencia a que los postes de terminales son de plomo poroso. Un acumulador puede perder su presión crítica a través de diminutos poros y fisuras en sus terminales. La pérdida de presión es perjudicial para el acumulador, y se nota porque los

postes son negros; eso se debe a que los humos de ácido sulfúrico escapan del acumulador a través y alrededor de los postes y bujes de plomo. Estos humos pueden causar corrosión y pueden dañar equipos electrónicos sensibles.

Estos poros y fisuras se deben al método industrial empleado para colar los postes y los bujes con ese método se producen diminutas bolsas de aire, y trayectos que permiten escapar a los gases corrosivos, causando pérdidas de presión que acortan la duración, así como sequedad de celdas y daños por corrosión.

Para eliminar este problema **nosotros usamos postes de terminal y bujes forjados**, totalmente macizos **sin porosidad**, en absoluto. La ventaja es la **mayor duración**, mejor eficiencia y **ausencia de fugas de gases corrosivos** ... de especial importancia al instalarse en o cerca de equipos electrónicos sensibles.

Prevención de la estratificación del ácido

En las celdas convencionales con líquido, y en aplicaciones estacionarias y de reserva, puede presentarse la estratificación del ácido. El ácido descargado, más ligero, sube a la parte superior de la celda, y el electrolito cargado, más pesado, baja al fondo. En consecuencia, la parte superior de la celda está descargada y se comienza a sulfatar, y la parte inferior comienza a corroerse en forma prematura. Bajamos la duración y la eficiencia.

Como nuestro electrolito está inmovilizado, no se puede estratificar. En consecuencia **no es necesaria carga de igualación de alto voltaje**. Sólo recargue al ajuste normal de 13.8 a 14.1 voltios. Esto da como resultado **mayor duración y eficiencia consistente** en aplicaciones estacionarias y de reserva.

Cómodas asas para el manejo

En nuestros modelos 8GU1H, 8G24, 8G27, 8G30H, 8G31DT, 8G31, 8G4D y 8G8D se incluyen, a diferencia de otras celdas de gel, **asas para el manejo**. **Esta propiedad facilita el transporte, la instalación y la remoción, y son más cómodas y menos tardadas**.

Docenas de opciones disponibles para terminales

Nuestros acumuladores se entregan con el tipo más común de terminal. Sin embargo, en pedidos especiales se **dispone de muchas opciones para terminales**. Esto le da a usted una flexibilidad total para especificar la **terminal adecuada para su aplicación** ... sin tener que hacer adaptaciones.

Caja y tapa patentadas

Nosotros diseñamos y moldeamos nuestras propias y robustas cajas y cubiertas de polipropileno, en nuestras instalaciones locales con la última tecnología en moldeado de plástico. Esto da un **control minucioso** de nuestros diseños de alto rendimiento, así como sobre la calidad y las entregas a nuestra planta manufacturera, **asegurando para usted** el acumulador de la **máxima calidad** y con el servicio más fiable.

Protección al ambiente y al trabajador

Es bueno saber que se ha diseñado nuestro proceso con todas las salvaguardias para **proteger a nuestros compañeros de trabajo y al ambiente** ... salvaguardias especiales que son exclusivas de nuestra fábrica. Una ventaja es la seguridad de tener un abastecimiento consistente de acumuladores, sin temor a interferencias o demoras por el gobierno.

Más de 250 pruebas de aseguramiento de la calidad

Se hacen cientos de pruebas de calidad, para asegurar la confianza total en el funcionamiento y en la duración de nuestros acumuladores.

Por ejemplo:

- **Ciclo de 100%.** Después de la carga inicial, **cada acumulador se descarga por completo y después se carga** en la fábrica. Esto nos permite comprobar su eficiencia, y darle una segunda carga que **iguale las celdas, para mejorar la eficiencia y tener mayor duración.**

Es interesante observar que, como medida de ahorro, se usa la corriente generada durante la carga inicial para cargar otros acumuladores, en este proceso controlado por computadora.

- **Prueba de permanencia prolongada en almacén.** Antes de embarcarlo, cada acumulador debe permanecer inactivo determinado tiempo. Se comparan sus voltajes inicial y final. En este **paso adicional de aseguramiento de la calidad** se comprueba que la válvula de control de presión, que es fundamental, funcione en forma correcta.

- **Control de peso en el llenado.** Durante este proceso computarizado se pesan los acumuladores antes y después de llenarlos. Así se **asegura que haya la cantidad exacta de gel** en cada acumulador.

- **Proceso de llenado y evacuación en varias etapas.** Cada acumulador se llena y se le hace vacío varias veces durante este proceso computarizado. La evacuación en varias etapas **asegura una interfaz completa entre gel y placa**, sin bolsas de aire que consuman energía.

- **Comprobación computarizada de la polaridad.** Cada acumulador se prueba, con computadora, para asegurar su polaridad correcta.

- **Inspección de los elementos formados.** Los elementos se arman y se **cargan fuera de la caja del acumulador** en un proceso computarizado de conformación y secado. Esto permite la inspección visual de cada rejilla, placa, separador y elemento moldeado antes de sellarse dentro del acumulador, y se asegura que los elementos de las celdas sean perfectos, con la máxima duración y la máxima eficiencia.

- **Placas formadas en la caja.** En aplicaciones de reserva es fundamental tener placas de voltajes igualados. Al conformar cada placa en forma individual, fuera del acumulador, se asegura tener las placas de la **máxima calidad** y mejor igualadas en la industria.

Tecnología de punta

Dentro de nuestras multimillonarias instalaciones de producción de celdas de gel hemos incorporado **procesos de punta para manufactura** igualados por algún otro fabricante de acumuladores. Esta notable contribución nos permite fabricar el **acumulador de gel más moderno y fiable de la industria.**

¿Cómo se comparan las propiedades de los acumuladores MK con los demás acumuladores?

PROPIEDAD		CELDA DE GEL MK	OTRAS CELDAS DE GEL	ELECTROLITO TOTALMENTE AGOTADO	CELDA CON LIQUIDO
1.	Conocimientos de MK	SÍ	NO	SÓLO MK	NO
2.	Sin derrames y sin fugas	SÍ	SÍ	SÍ	NO
3.	Sellados, regulados con válvula	SÍ	SÍ	SÍ	NO
4.	Válvula de sello ultra-Premium	SÍ	NO	SÓLO MK	NO
5.	Fórmula exclusiva del gel	SÍ	NO	NO	NO
6.	Protección contra descarga profunda	SÍ	SÍ	SÍ	NO
7.	Mezclado de gel exclusivo y computarizado	SÍ	NO	NO	NO
8.	Placas formadas en tanque	SÍ	NO	SÓLO MK	NO
9.	Llenado y evacuación de gel en varias etapas	SÍ	NO	NO	NO
10.	Separadores aislantes ultra-Premium duales de colchoneta de vidrio	SÍ	NO	NO	NO
11.	Sellos exclusivos de soldadura entre particiones	SÍ	NO	SÓLO MK	NO
12.	Rejillas exclusivas de aleación patentada de plomo con calcio y cobre	SÍ	NO	SÓLO MK	NO
13.	Rejillas estilo para motores eléctricos, de trabajo rudo	SÍ	NO	SÓLO MK	NO
14.	Maquinado, cepillado y fundente en zapatas de rejilla	SÍ	¿?	SÓLO MK	NO
15.	Abrazaderas de placas de aleación especial para uso rudo	SÍ	NO	SÓLO MK	NO
16.	Envoltura especial de elemento "contra musgo"	SÍ	NO	NO	NO
17.	Postes y bujes forjados	SÍ	NO	SÓLO MK	NO
18.	Prevención de estratificación de ácido	SÍ	SÍ	SÍ	NO
19.	Asas de transporte	SÍ	¿?	LIMITADAS	LIMITADAS
20.	Docenas de opciones para terminales	SÍ	¿?	SÓLO MK	NO
21.	Máximos ciclos de duración	SÍ	NO	NO	NO
22.	Máxima eficiencia	SÍ	NO	NO	N.A.
23.	Prueba de reposo en almacenamiento	SÍ	¿?	NO	NO
24.	Descarga de 100% y carga de igualación	SÍ	¿?	NO	NO
25.	Más de 250 pruebas de aseguramiento de la calidad, con certificación ISO 9001	SÍ	¿?	SÓLO MK	NO
26.	Tecnología y fábrica ultramodernas	SÍ	NO	SÓLO MK	SÓLO MK



Respuestas a las preguntas más frecuentes

NOTA: Antes de leer esta sección, asegúrese de haber comprendido la diferencia entre acumuladores SVR de gel y acumuladores SVR absorbido

¿Cómo se justifica el mayor precio de los acumuladores de gel, para los que no están familiarizados con estos acumuladores?

Sólo repase las ventajas, propiedades y beneficios, eficiencia, así como los impresionantes resultados de duración. Con base en esto y en el costo mensual mínimo del ciclo de trabajo, usted y/o su cliente no deben tener dudas al escoger este acumulador.

Sin embargo, recuerde que estos acumuladores no son para todos ni para todas las aplicaciones. Y siempre tenga en cuenta las consideraciones de la carga (vea las página 11 y 12).

¿Cuáles son las ventajas y desventajas de los distintos diseños de acumulador?

Ventajas del electrolito gelado:

- Totalmente sin mantenimiento • Transportables por aire
- Sin derrames y sin fugas • Sin corrosión
- Mejor duración en ciclo profundo • Se instala derecho o del lado
- Producción de gases muy baja o nula (a menos que se cargue demasiado)
- Compatible con equipo electrónico sensible
- Mayor duración en almacén
- Mejor facilidad de recarga (de 10.5 voltios al 90% en 3 1/2 horas)
- Sin límite de corriente de recarga a 13.8 voltios
- Robustos y resistentes a vibraciones
- Muy seguros en el mar, sin que haya cloro gaseoso en la sentina (debido a la mezcla de ácido sulfúrico y agua de mar)
- Los más versátiles para: arranque, ciclo profundo y estacionarios
- Funciona en ambientes mojados ... hasta bajo 10 metros de agua
- No se congela a -20 °F / -30 °C (si está totalmente cargado)
- Mínimo costo mensual (costo ÷ meses de duración)
- Mínimo costo por ciclo (costo ÷ ciclos en su vida)

Desventajas del electrolito gelado:

- Mayor costo inicial • Mayor peso
- No se puede rellenar con agua si se carga demasiado continuamente
- Se **deben** usar cargadores con detección automática de temperatura y regulados por voltaje
- El voltaje de carga **se debe** limitar para aumentar la duración (de 13.8 a 14.1 voltios, como máximo a 68 °F (20 °C)

Ventajas del electrolito absorbido:

- Totalmente sin mantenimiento • Transportable por aire
- A prueba de derrames y a prueba de fugas
- No provoca corrosión • Se instala derecho o del lado
- Menor costo que los acumuladores de celda de gel
- Es compatible con equipos electrónicos sensibles
- Desprendimiento de gases muy bajo o nulo (a menos que se sobrecargue)
- Mejor para descargas intensas y de poca duración
- Excelente para aplicaciones de arranque y estacionarias.

Desventajas del electrolito absorbido:

- Menor duración que los de gel o los de líquido en aplicaciones de ciclo profundo
- Se deben usar cargadores con voltaje regulado y detección automática de temperatura
- No se puede rellenar el agua cuando se carga demasiado en forma continua
- El voltaje de carga **debe** limitarse (de 14.4 a 14.6 voltios máximo a 68 °F o 20 °C)

Ventajas del electrolito inundado:

- Mínimo costo inicial • Más amperes en el arranque
- Se puede agregar agua (si hay acceso)
- Excelentes para aplicaciones de arranque
- Acepta mayores voltajes de carga
- Ciertos diseños son buenos para aplicaciones de ciclo profundo
- Se consiguen con facilidad partes de repuesto

Desventajas del electrolito inundado:

- Se derraman • Sólo funcionan estando derechos
- Menor duración en almacenamiento que los de gel
- Menor duración que los de gel
- No se pueden instalar cerca de equipos electrónicos sensible
- Se requiere rellenarlos con agua (si es accesible)

¿Por qué no pueden abrirse los acumuladores SVR?

Los acumuladores SVR (sellados, regulados con válvula) se llaman a veces SLA (plomo-ácido sellados) funcionan con el principio de recombinación. Eso quiere decir que durante la carga, el hidrógeno producido en la placa negativa se recombina con el oxígeno producido en la placa positiva para formar H₂O, es decir, agua. Esta agua sustituye a la humedad en las cojinetas separadoras de gel o de electrolito absorbido. Para que funcione bien, este proceso de recombinación debe llevarse a cabo con presión interna positiva.

Si se carga demasiado un acumulador SVR, el hidrógeno y el oxígeno se producirán con mayor rapidez de la que se pueden recombinar, y saldrán de la celda, perdiéndose en la atmósfera. Los separadores se secan, en los acumuladores de gel o de electrolito absorbido, y el acumulador falla en forma prematura.

Si se abre un acumulador SVR, la celda pierde su presión y la placa negativa se contamina con el exceso de oxígeno, que daña al acumulador. Además, cuando se cambian las válvulas, pueden tener fugas que dañan al acumulador.

Si las rejillas con calcio no trabajan bien en aplicaciones de ciclo profundo e inundadas de electrolito ¿cómo puede East Penn usarlas en aplicaciones de ciclo profundo con celdas de gel?

El acumulador de calcio inundado de electrolito es muy eficiente y de baja resistencia. En consecuencia, cuando se descargan mucho, las placas liberan toda su energía disponible y se provoca desprendimiento de placa y caída del material activo. En contraste, con los acumuladores inundados de antimonio, el antimonio ayuda a sujetar al material activo sobre la rejilla. En consecuencia la placa no se desprende con tanta facilidad, y eso aumenta la duración del acumulador con ciclos profundos, en comparación con los inundados de calcio.

El calcio gelado (nuestra aleación exclusiva y patentada) también tiene mucha eficiencia y baja resistencia. Sin embargo, cuando se descargan mucho, el electrolito se consume antes de que las placas se descarguen totalmente, porque el acumulador tiene ácido limitado.

Esta propiedad:

- limita la descarga que pueden sostener las placas.
- protege a las placas contra el desprendimiento causado por descargas profundas.
- aumenta la duración del acumulador.

¿Por qué nuestras celdas de gel tienen mayor duración de ciclo que otras?

Algunas de las propiedades principales que contribuyen a la mayor duración de ciclo son:

- Nuestra aleación patentada de cobre y calcio produce mayor eficiencia debido a la pureza del plomo. Se agrega cobre como "refinador de grano." Eso quiere decir que los granos microscópicos en nuestras rejillas de plomo tienen forma aleatoria de modo que retardan la corrosión y aumentan la duración de nuestras rejillas.
- Nuestras rejillas más gruesas tienen mayor resistencia a la corrosión que las más delgadas.
- Nuestras celdas de gel están protegidas contra la descarga profunda, porque tienen limitado el ácido. Esto quiere decir que el acumulador usa la energía del ácido antes de usar la de las placas. En consecuencia, las placas nunca se someten a descargas profundas destructivas.
- Con carga regulada por voltaje y detección adecuada de temperatura (entre 13.8 y 14.1 voltios a 68 °F, 20 °C), nunca se consume el agua en las celdas de gel.
- Nuestros separadores de colchoneta de vidrio, ultra-premium y de aislamiento doble no se rompen en el servicio. La colchoneta de vidrio se incrusta en la placa, lo cual retarda el desprendimiento que acorta la duración.
- Nuestra abrazadera de poliéster retarda la "formación de musgo", es decir, el crecimiento de material activo que causa corto circuitos.
- Más de 250 pruebas de control de calidad aseguran mayor eficiencia y larga duración del acumulador.

¿Por qué nuestras celdas de gel tienen más duración en almacenamiento?

Nuestros separadores premium de aleación de plomo con calcio y cobre y gel desmineralizado son ultrapuros. Las impurezas en la aleación de plomo, los separadores y el electrolito provocan diminutas corrientes dentro de una celda, que terminan por descargar el acumulador y acortar su duración en almacén. Mientras más puras sean las partes, la duración en almacén será mayor. ¡Nadie iguala la pureza de MK!

Nuestra "empaquetadura de sello de soldadura" exclusiva impide las diminutas corrientes entre celdas, que causan la descarga propia. Mientras mejor sea el sello de soldadura, la duración en almacén será mayor. Los sellos de soldadura son exclusivos de los acumuladores MK de celdas de gel.

¿Afecta la profundidad de descarga a los ciclos de duración?

¡Sí! Mientras más duro tiene que trabajar un acumulador, fallará más pronto.

<i>Capacidad normal* de ciclos con la celda de gel, en función de profundidad de descarga</i>	
Capacidad descargada	Duración normal, ciclos
100%	500
75%	750
50%	1100
25%	2500
10%	6000

Como puede usted ver, mientras menor sea la descarga promedio, la duración es mayor. Es la razón de la importancia de dimensionar un sistema de acumuladores para que entregue al menos el doble de la potencia promedio necesaria.

* Podrá usted tener mayor o menor duración, de acuerdo con la aplicación, el régimen de carga, la temperatura, los periodos de reposo, etc.

¿Por qué nuestra celda de gel no se puede descargar tanto?

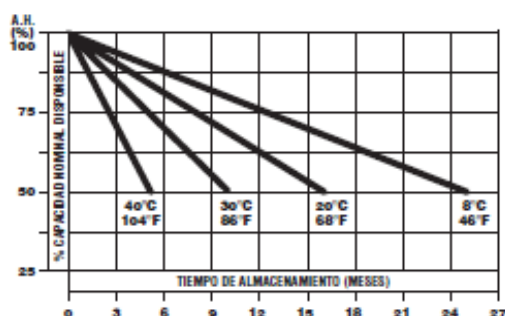
Nuestras celdas de gel se diseñan para tener "limitado el ácido". Eso quiere decir que la potencia (el sulfato) del ácido se usa antes que la potencia de las placas. Con este diseño se protege a las placas contra descargas ultra-profundas. Las descargas ultra-profundas son las que causan el desprendimiento de placa y la corrosión acelerada de la rejilla positiva, que acortan la duración y destruyen un acumulador.

¿Por qué la temperatura tiene un efecto tan pronunciado sobre los acumuladores?

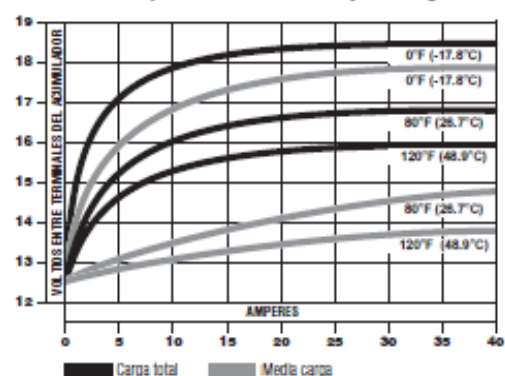
La temperatura es un factor principal en la eficiencia, la duración en almacén, la carga y el control por voltaje en los acumuladores. A temperaturas mayores hay una actividad química mucho mayor dentro de un acumulador, que a temperaturas más bajas, porque los iones y los electrones se mueven con mayor rapidez en caliente que en frío.

Las gráficas que siguen ilustran lo anterior.

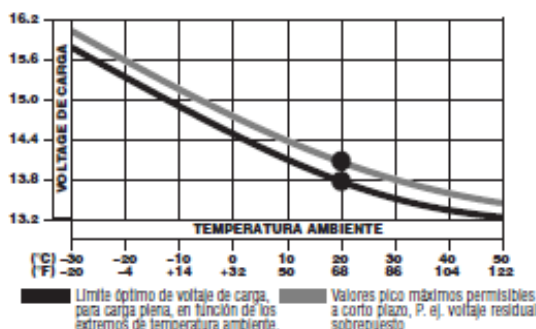
Descarga propia de acumuladores de celda de gel a distintas temperaturas



Efecto de la temperatura sobre el voltaje de carga



Voltaje de carga en función de la temperatura ambiente, Acumuladores de celda de gel de 12 voltios



Carga de gel y voltajes en flotación a distintos intervalos de temperatura

Temp. °F	Carga		Flotación		Temp. °C
	Óptima	Máxima	Óptima	Máxima	
≥ 120	13.00	13.30	12.80	13.00	≥ 49
110 – 119	13.20	13.50	12.90	13.20	44 – 48
100 – 109	13.30	13.60	13.00	13.30	38 – 43
90 – 99	13.40	13.70	13.10	13.40	32 – 37
80 – 89	13.50	13.80	13.20	13.50	27 – 31
70 – 79	13.70	14.00	13.40	13.70	21 – 26
60 – 69	13.85	14.15	13.55	13.85	16 – 20
50 – 59	14.00	14.30	13.70	14.00	10 – 15
40 – 49	14.20	14.50	13.90	14.20	5 – 9
≤ 39	14.50	14.80	14.20	14.50	≤ 4

¿Qué es estratificación de ácido? ¿Cómo la evitan nuestras celdas de gel?

El electrolito gelado es un electrolito inmobilizado. Cuando se estratifica el electrolito líquido o ácido, los iones cargados más pesados se hunden realmente hasta el fondo de la celda y dejan ácido descargado, o agua, en la superficie. Eso permite que la parte superior de las placas se oxide y se corra, reduciendo la eficiencia y acortando la vida. Los fondos de las placas también se corroen debido a la acción del ácido, más concentrado. Eso puede suceder en aplicaciones estacionarias, porque el acumulador nunca se mueve y mezcla el ácido. Como nuestro electrolito es un gel de consistencia espesa, no puede suceder la estratificación.

¿Cómo se recarga un acumulador?

Este proceso es igual para toda clase de acumuladores: de electrolito líquido, gelado o absorbido o agotado.

Las reacciones químicas que suceden dentro de un acumulador durante la carga (o "recarga") son básicamente las inversas de las que suceden durante la descarga. Cuando se carga un acumulador, el sulfato de plomo ($PbSO_4$) de ambas placas se descompone en su forma original de plomo (Pb) y sulfato (SO_4). El agua se descompone en hidrógeno (H) y oxígeno (O). A medida que el sulfato sale de las placas se combina con el hidrógeno y se regenera el ácido sulfúrico (H_2SO_4). Al mismo tiempo, el oxígeno se vuelve a combinar químicamente con el plomo de la placa positiva para formar dióxido de plomo (PbO_2). La gravedad específica del electrolito aumenta durante la carga, porque se forma ácido sulfúrico que reemplaza al agua del electrolito.

Un acumulador de plomo-ácido desprende gas al cargarlo. Se desprende hidrógeno en la placa negativa y oxígeno en la positiva. Esos gases se producen al descomponerse el agua (H_2O). Un acumulador emite gases y usa agua, porque se carga con mayor rapidez que la que puede aceptar. Esto puede suceder si el acumulador ya está totalmente cargado, si sus placas se sulfatan y no pueden aceptar la carga, o si está demasiado frío para aceptar una carga.

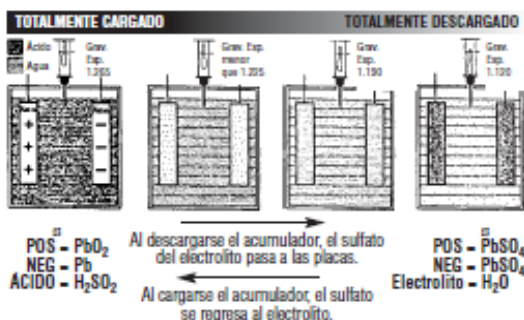
Un acumulador emite gas casi al final de su carga, porque la rapidez de carga es demasiado alta para que la acepte el acumulador. Un cargador regulado por voltaje con compensación de temperatura, que reduce en forma automática la rapidez de carga a medida que el acumulador se acerca al estado de carga total, elimina la mayor parte de la emisión de gases. **Es extremadamente importante no cargar los acumuladores durante largos tiempos a tasas que**

los hagan emitir gas, porque consumen agua que no se puede reponer en los acumuladores sellados, regulados con válvula. Naturalmente que ningún acumulador se debe cargar demasiado durante largo tiempo ... aun con la pequeña rapidez que se usa en las llamadas "cargas de mantenimiento."

En un acumulador totalmente cargado, la mayor parte del sulfato está en forma de ácido sulfúrico. A medida que se descarga, se comienza a formar algo de sulfato sobre las placas, en forma de sulfato de plomo ($PbSO_4$). Al suceder eso, el ácido se vuelve más diluido y baja su gravedad específica, a medida que el agua reemplaza más ácido sulfúrico. Un acumulador totalmente descargado tiene más sulfato en las placas que en el electrolito.

A continuación se ilustra la relación entre las indicaciones de gravedad específica y la combinación del sulfato del ácido, con las placas positivas y negativas en distintas etapas de la carga.

Acumulador "inundado" normal



¿Qué tan crítico es el voltaje de carga? ¿Por qué los acumuladores SVR son tan sensibles?

Los acumuladores SVR (sellados, regulados con válvula) funcionan con el **principio de recombinación**. Eso quiere decir que durante la carga, el hidrógeno producido en la placa negativa, y el oxígeno producido en la positiva* se recombinan y producen H_2O , es decir, agua. El agua sustituye la humedad del gel o la de los separadores de colchoneta absorbida.

* Todos los acumuladores de plomo-ácido emiten hidrógeno de la placa negativa y oxígeno de la placa positiva, durante su carga.

Los acumuladores SVR tienen válvulas especiales, sensibles a la presión, para mantener la celda con determinada presión interna. Esta presión es necesaria para que la recombinación de hidrógeno y oxígeno proceda en forma correcta. Sin presión, el hidrógeno y el oxígeno se perderían en la atmósfera, y al final se secarían el gel o los separadores absorbidos.

Recuerde que el voltaje es presión eléctrica, y que el amperaje es flujo eléctrico. Las placas del acumulador se pueden someter a demasiada carga (sobrecarga) Si las placas de un acumulador se someten a demasiada presión eléctrica (demasiado voltaje en la carga) emitirán más oxígeno e hidrógeno de los que se puedan recombinar.

El exceso de gas aumenta la presión en el acumulador, que se descarga al exterior por las válvulas de seguridad de presión. Cuando se desprende ese gas, se pierden el hidrógeno y el oxígeno, y ya no se pueden sustituir. Con demasiada carga, todo acumulador SVR se secará y fallará en forma prematura.

En consecuencia **se debe regular cuidadosamente la carga:**

- 13.8 a 14.1 V para las celdas de gel.
- 14.4 a 14.6 V para los modelos SAT de electrolito absorbido.

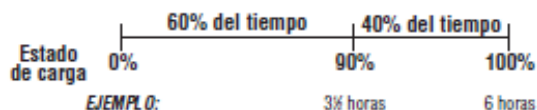
Se debe usar un cargador fiable, compensador de voltaje con detección automática de temperatura. NUNCA se debe dejar un acumulador con un "cargador de mantenimiento".

¿En cuánto tiempo se carga un acumulador de gel totalmente descargado?

Es difícil determinar un tiempo específico, ya que la carga depende de muchas variables:

- Profundidad de descarga
- Temperatura
- Tamaño y eficiencia del cargador
- Edad y estado del acumulador

Tiempo de carga en función del estado de carga a 90% y a 100%



Vea una estimación de tiempo en la Guía de carga de celdas de gel, en la página 13, basada en la corriente inicial de carga que acepta el acumulador.

Se necesita más o menos el 60% del tiempo para subir a un acumulador desde 10.5 voltios hasta 90% de carga (12.75 voltios). Se necesita el 40% del tiempo de carga restante para poner el último 40% de la carga en el acumulador (12.95 voltios = 100% de carga).

Guía de carga para celdas de gel

Tiempo de carga en función de corriente inicial de carga, hasta el 90% de carga total

(Usando un cargador regulado por voltaje con detección automática de temperatura, ajustado a 13.8 V. Acumulador totalmente descargado a 11.80-12.0 voltios.)

Parte No.	Amperes iniciales		
	13 horas*	6 horas*	3½ horas*
8GU1, 8GU1H	3	8	15
8G22NF	5	12	23
8G24	7	17	33
8G27	8	21	41
8G30H, 8G31, 8G31DT	9	24	45
8G4D, 8GGC2	17	42	83
8G8D	20	50	100

*valores aproximados

CÓMO USAR ESTA TABLA: Cuando se enciende el cargador, lea los amperes después de aproximadamente un minuto. Los amperes iniciales indicarán el tiempo aproximado de carga.

EJEMPLO

Si la corriente de carga para un 8G24 es unos 17 amp al comenzar la carga, el acumulador estará al 90% de su carga más o menos en 6 horas.

IMPORTANTE: ¡Use siempre un cargador regulado por voltaje, con detección automática de temperatura! Ponga el cargador entre 13.8 y 14.1 voltios a 68 °F. ¡No rebase los 14.1 voltios! ¡Nunca abra un acumulador sellado de gel!

¿Cómo puede la falta continua de carga dañar a un acumulador?

En muchos aspectos, la falta de carga es tan perjudicial como la carga excesiva. Si se mantiene un acumulador en una condición de baja carga se permite que se corroan las rejillas positivas y que se desprendan las placas, acortando la duración en forma muy considerable. También, un acumulador con baja carga debe trabajar más que uno totalmente cargado, y eso también contribuye a acortar su duración.

¿Cómo se puede decir que un acumulador SVR está totalmente cargado?

La única manera es con un voltímetro.

Comparación de voltaje de circuito abierto en función de estados de carga *

% de carga	Voltaje de circuito abierto		
	Inunando	Gel	Absorbido
100	12.70-12.60	12.95-12.85	12.90-12.80
75	12.40	12.65	12.60
50	12.20	12.35	12.30
25	12.00	12.00	12.00
0	11.80	11.80	11.80

NOTA: Divida entre dos estos valores para acumuladores de 6 voltios.
* Sólo se puede determinar el voltaje de circuito abierto "real" de un acumulador, 24 horas después de haberlo sacado del cargador (en carga o des carga).

¿Cómo se puede decir si un acumulador SVR está dañado por falta o por exceso de carga?

La única forma es con una prueba de carga. Use el mismo procedimiento que el que se usa con el acumulador de celda inundada:

- Cárguelo si el voltaje de circuito abierto está a menos del 75%.
- Si es ajustable, ponga la carga a la mitad del valor nominal de corriente CGA, o a tres veces la rapidez de 20 Ah.
- Aplique la carga durante 15 segundos. El voltaje se debe estabilizar a más de 9.6 voltios con carga.
- Si es menor que 9.6 voltios, vuelva a cargarlo y repita la prueba.
- Si por segunda vez es menor que 9.6 voltios, deseche y recicle el acumulador.

¿Qué es un cargador de flotación? ¿Por qué se recomienda un voltaje de flotación?

A veces, a los cargadores de flotación se les llama "inteligentes". Esta clase de cargador entrega continuamente un voltaje preestablecido al acumulador, independientemente de las condiciones de carga.

Cuando el cargador siente que el voltaje ha bajado del ajuste predeterminado (el voltaje de flotación) **se enciende automáticamente**. Carga al acumulador hasta que regresa al voltaje correcto, y se apaga o casi se apaga. Hay algunos que mantienen algunos miliamperes pasando por el acumulador, y si esa corriente es demasiado alta, causará problemas.

Estos cargadores se usan en aplicaciones estacionarias, de respaldo de emergencia, de alumbrado de emergencia y en otras diversas.

La frecuencia de la descarga y la temperatura determinan que el ajuste sea más exacto. Por ejemplo, si la descarga es más frecuente, el voltaje de carga sugerido es mayor, hasta un máximo de 2.35 voltios por celda (a 20 °C o 68 °F).

El voltaje de flotación que recomendamos es de 2.25 a 2.3 voltios por celda, para los modelos de gel y electrolito absorbido.

¿Cómo se sabe si un cargador es compatible con el gel?

Desafortunadamente, algunos cargadores se anuncian falsamente como "automáticos, con sensor de temperatura y regulados con voltaje." Además, un cargador puede ser antiguo, estar desajustado o necesitar reparación.

Regla #1: Sólo cargue celdas de gel con un cargador automático, con detección de temperatura y regulado con voltaje. Nunca use un cargador de corriente constante. (La carga con corriente constante sobrecarga a cualquier acumulador SVR.)

Mantenga siempre la corriente de carga en el intervalo de 13.8 V a 14.1 V para los modelos de gel de 12 voltios y 6.90 a 7.05 voltios para los de 6 voltios de gel.

Mantenga siempre la corriente de carga en el intervalo de 14.4 V a 14.6 V para los modelos de gel de 12 voltios y 7.2 a 7.3 voltios para los de 6 voltios de gel.

Si no está usted seguro de que un cargador esté funcionando en forma adecuada, haga lo siguiente:

- Con un acumulador de celda de gel, totalmente descargado (11.8 V a 10.5 V) y un voltímetro digital, anote el voltaje inicial a circuito abierto entre las terminales del acumulador.
- Usando un cargador automático como se describió arriba, ajuste el voltaje en 14.1 V para modelos de gel, y a 14.6 V para modelos absorbidos.
- Conecte y comience la carga. Anote el voltaje y la corriente (amperes) iniciales de carga.
- Vea la Guía de carga de celdas de gel, en la página 13, y estime el tiempo necesario para llegar a plena carga, con base en la corriente inicial de carga que se anotó en "c" arriba.
- Más o menos cada hora, vea y anote el voltaje de carga entre las terminales del acumulador. A excepción de impulsos ocasionales y breves, el voltaje no debe exceder de los límites que se mencionan en el punto "b" arriba.
- Al final de la carga, cuando la corriente es muy baja o cero, vea y anote el voltaje. Observe que para entonces se puede haber apagado el cargador.
- El acumulador desconectado debe estar al 100% o más (debido a la "carga superficial").

Durante el tiempo de carga, el cargador no debe haber rebasado el límite (a excepción de impulsos breves y ocasionales). Esto indica que el cargador está funcionando en forma correcta.

Tenga en cuenta que el límite de voltaje es a 68 °F (20 °C). Al cargar a temperaturas mayores o menores, este límite cambia. (Vea en la página 11 la gráfica "Efecto de la temperatura sobre el voltaje de carga.") Siempre se debe usar un cargador con sensor de temperatura, porque los ajustes manuales nunca son exactos y dañan a cualquier acumulador SVR.

¿Tienen "memoria" los acumuladores de celda de gel, como los de Ni-Cd?

Una de las grandes desventajas de los acumuladores de níquel-cadmio, o Ni-Cd, es que cuando sólo están parcialmente cargados, después de varios usos, "recuerdan" el límite de carga y no permiten volver a cargar al 100%, a menos que se descarguen por completo y se vuelvan a cargar varias veces. **Nuestras celdas de gel no tienen esa memoria.**

¿Cuáles son las tasas seguras y los ajustes de voltaje seguros de carga para aplicaciones a la intemperie, con grandes fluctuaciones de temperatura, si no se dispone de un cargador con detección de temperatura?

¡NO LAS HAY! Como se ve en la gráfica "Efecto de la temperatura sobre el voltaje de carga" de la página 11, el voltaje de carga varía mucho con la temperatura. **No hay un ajuste fijo de voltaje o de corriente que funcione.** Se debe usar un cargador regulado por voltaje con detector de temperatura. Cualquier otra cosa dañará el acumulador **y causará su falla prematura!**

¿Se puede probar la carga de un acumulador SVR igual que uno inundado?

Si. Vea la página 13 (¿Cómo se puede decir si un acumulador SVR está dañado por falta o exceso de carga?)

¿Por qué algunos acumuladores se abomban? ¿Hay indicaciones visuales de que la válvula de alivio de presión esté descompuesta o tapada?

Para que funcionen bien, y para que se lleve a cabo la recombinación del hidrógeno y el oxígeno, se presiona cada celda aproximadamente 1 1/2 psi (0.1 bar).



Los acumuladores con celdas muy grandes, como los 8G4D y 8G8D, se abomban un poco cuando se acumula esta presión, que es normal. Esto tiene especial validez a mayores temperaturas, porque la caja de polipropileno es más dúctil. En consecuencia, **es normal cierto grado de abombamiento.**

Sin embargo, si un acumulador se abomba mucho, y se ve como un balón de fútbol, eso no es normal y es un indicio de que la válvula está obstruida. Se debe sacar de servicio ese acumulador.

¿Qué tan seguros son los acumuladores SVR? ¿Pueden explotar?

Los acumuladores SVR son muy seguros, a menos que se abuse de ellos. Sin embargo, como con cualquier clase de acumulador, se deben adoptar precauciones de seguridad.

¡USE SIEMPRE GAFAS DE SEGURIDAD CUANDO TRABAJE CERCA DE ACUMULADORES!

⚠ PELIGRO			
 <p>ALTO VOLTAJE... RIESGO DE "SPARK." NO TOQUE LOS CONDUCTORES O TERMINALES NO AISLADOS.</p>	 <p>PROTEJASE LOS OJOS. GASES EXPLOSIVOS PUEDEN CAUSAR LESIONES O CEGUERAS.</p>	 <p>NO • FUMAR • BEBER • COMER</p>	 <p>LAVASE LOS OJOS INMEDIATAMENTE CON AGUA. DETENGA AYUDA MEDICA.</p>
<p>MANTENGA LAS VÁLVULAS DE PURGA DEBIDAMENTE CERRADAS.</p>		<p>VENTILESE EL AREA DE CARGA CUANDO EL CARGADO ES ENCERRADO.</p>	
<p>VEASE LAS INSTRUCCIONES DE INSTALACIÓN, MANTENIMIENTO Y OPERACIÓN PARA PRECAUCIONES IMPORTANTES DE SEGURIDAD.</p>			
<p>LAS REPARACIONES DEBEN SER HECHAS SOLAMENTE POR UN TECNICO DE SERVICIO QUALIFICADO.</p>			

Ya que en el caso normal los acumuladores SVR emiten poco o nada de hidrógeno gaseoso, son seguros cerca de equipos electrónicos sensibles. No causan corrosión de los metales cercanos. Que no haya hidrógeno gaseoso equivale a que no haya explosiones peligrosas ¡A MENOS QUE SE CARGUEN DEMASIADO!

Nunca instale acumuladores de ácido-plomo en un recipiente o gabinete sellado herméticamente. Es necesario que el hidrógeno pueda escapar a la atmósfera.

NO CARGUE MÁS ALLÁ DE 14.1 V en acumuladores con celdas de gel a 68°F (20°C)

NO CARGUE MÁS ALLÁ DE 14.6 V en acumuladores absorbidos a 68°F (20°C)

(Vea la tabla de voltajes y temperaturas en la página 11.)

Use siempre un cargador automático regulado por voltaje, con detección de temperatura y confiable.

Dado que los acumuladores SVR tienen electrolito inmovilizado, no pueden derramarse o tener fugas, aun cuando se agujeren. Es la razón por la que cuentan con la autorización de la Organización Internacional de Aerolíneas Comerciales (ICAO), la Asociación Internacional de Transporte en Aerolíneas (IATA) y del Departamento de Transporte (DOT) en Estados Unidos, para poder ser transportadas por aire, como se indica en la etiqueta.

También, cuando se protegen contra cortocircuitos y se fijan o sujetan con firmeza, nuestros acumuladores de celda de gel "no están sujetos a otros requisitos de 49 CFR Partes 171 a 180...." para su transporte.

¿De qué manera fluye la corriente? ¿De qué lado se debe instalar un disyuntor?

Al contrario de la creencia general, la corriente fluye del electrodo negativo, pasa por la carga y regresa por el electrodo positivo. En consecuencia, lo mejor es instalar un fusible o un disyuntor entre el poste negativo y la carga. Esto también funciona bien, porque en general el cable positivo tiene varios conductores o tomas conectadas a él.

¿Qué necesito saber sobre la instalación, en especial en aplicaciones marinas, con agua salada?

Cableado e impermeabilización

¡USE SIEMPRE GAFAS DE SEGURIDAD CUANDO TRABAJE CERCA DE ACUMULADORES!

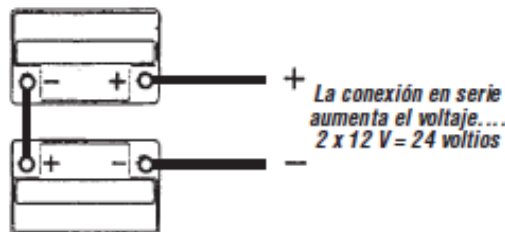
- El cableado con calibre aprobado debe ser de cobre estañado. Si se usa cobre sin estañar, deje que se "empapen" los filamentos con aspersión de silicona.
- Instale tubo radiador con interior de silicona; la silicona forma una excelente barrera a la humedad. Corte una longitud suficiente de tubo para cubrir el poste de terminal, y bastante longitud de la parte aislada del cable. Deslice el tubo sobre el cable.
- Sujete en la terminal correspondiente.
- Coloque el tubo radiador. Calientelo y revíselo.
- Limpie las terminales del acumulador y conéctelas. Asegúrese de que se haga contacto perfecto de metal a metal, sin basura, corrosión, grasa o material extraño que interfiera con el flujo de la corriente.
- Siempre fije primero el cable conectado al solenoide o al motor de arranque. ¡Conecte al último el cable de tierra! Apriete firmemente PERO NO DEMASIADO, porque se dañan las terminales o se rompe la tapa del acumulador. Con esto se destruye el acumulador y SE INVALIDA LA GARANTÍA.
- Rocíe las terminales y conectores expuestos con varias capas de aspersión protectora de corrosión para terminal de acumulador. (Proteja de la aspersión las áreas vecinas, aplique cinta.)
- Para acumuladores que pueden estar expuestos a ambientes muy húmedos (por ejemplo los que estén instalados en sentinas) es necesario el encapsulado total de las terminales y conectores expuestos. Sin embargo, no obstruya ni cubra los respiraderos

Se debe usar una manga para terminales de acumulador. Instálela en el cable antes de fijar la terminal. Rellene la manga con vaselina y ajústela sobre los conectores ya rociados (como en "g" arriba).

Instalación de acumuladores

En serie

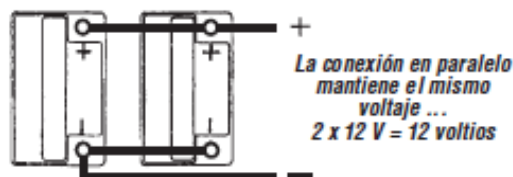
Un sistema "en serie" aumenta el voltaje, pero mantiene igual la capacidad del acumulador (amperes de arranque, amperes hora, minutos de reserva y minutos de funcionamiento). En consecuencia, dos acumuladores de 12 voltios conectados en serie (POS con NEG, NEG con POS) entregan 24 voltios, con la misma capacidad que un acumulador:



Mientras se están cargando, cada acumulador recibe la misma cantidad de corriente; por ejemplo, si del cargador salen 10 A, por cada uno de los dos acumuladores pasan 10 A.

En paralelo

Un sistema "en paralelo" aumenta la capacidad disponible, pero mantiene el mismo voltaje. En consecuencia, dos acumuladores de 12 voltios con 400 A en CC, 110 R.C. y 65 Ah entrega 12 voltios, 800 A CC, 220 R.C. y 130 Ah.



Mientras se están cargando, la corriente (amperes) se divide entre los acumuladores. El acumulador que está más descargado recibe más corriente que el otro, hasta que ambos llegan hasta su carga completa.

Nota: Nunca mezcle distintos tipos y tamaños de acumuladores en el mismo banco.

Para volver a cargarlos bien se debe instalar un complicado "aislador de acumulador". En caso contrario, un acumulador se cargará demasiado siempre y el otro quedará con baja carga en una conexión en serie-paralelo.

Importante: No instale acumuladores de ningún tipo en recipiente o gabinete herméticamente cerrado. En caso de sobrecarga, debe haber una salida para los gases potencialmente explosivos.



SISTEMA DE CALIDAD
CERTIFICADO CON
ISO 9001

NOTES



MK Battery: 1645 South Sinclair Street • Anaheim, California 92806

Llame gratis al ... 800-372-9253 • Tel 714-937-1033 • Fax 714-937-0818 • Sitio Web: www.mkbattery.com • Correo electrónico: sales@mkbattery.com



Sistemas Fotovoltaico 12 Volt

para pequeñas viviendas aisladas

1.- Sistema MINI 12 Volt 35 Wp

Este sistema genera en promedio en Chile Central 7 Amp - hora por día, lo que equivale a un consumo promedio de 6 horas de una lámpara de 7 Watt y dos horas de TV Blanco y negro en 12 Volt.

El sistema se compone de un módulo de 35 Watt un regulador de carga de 8 Amp e incluye dos lámparas de bajo consumo de 7 Watt en 12 Volt con rosca E-27.

Deberá agregar además una batería de 12 Volt del tipo baja mantención y descarga profunda con una capacidad mínima de 60 Ah.

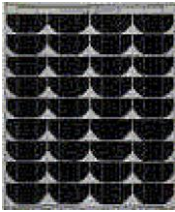
Cada lámpara SOLSUM de 7 Watt en 12 Volt tiene una luminosidad equivalente a una lámpara incandescente de 45 Watt.

Modulo SP36



Regulador SR 8

Valor total referencial \$ 278.000.- más IVA



2.- Sistema BASICO 12 Volt 50 Wp

Este sistema genera en promedio en Chile Central 10 Amp - hora por día, lo que equivale a un consumo promedio de 7 horas de una lámpara de 7 Watt y de tres horas de TV blanco y negro en 12 Volt.

El sistema se compone de un módulo de 50 Watt un regulador de carga de 8 Amp e incluye tres lámparas de bajo consumo de 7 Watt en 12 Volt con rosca E-27



Deberá agregar además una batería de 12 Volt del tipo baja mantención y descarga profunda con una capacidad

mínima de 100 Ah.

Cada lámpara SOLSUM de 7 Watt en 12 Volt tiene una luminosidad equivalente a una lámpara incandescente de 45 Watt.

Valor total referencial \$ 339.000.- más IVA



Solsum 7 Watt

SM 50 1219
X 329 mm





Solsum 7 Watt

Regulador SR 8

No están consideradas las estructuras de soporte para Paneles, cuyas características dependerán del lugar de instalación, igualmente no están considerados los costos de instalación y materiales eléctricos de cada dependencia de las mismas casas.

Los valores son solo referenciales, favor consultar a:

HELIPLAST – CHRISTOF HORN Y CIA LTDA

Energía Solar - Santiago - CHILE - Tel. 3340800 - 3346904 - Fax Anexo 24



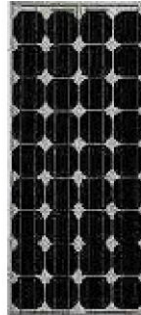
Nueva dirección Luis Thayer Ojeda 0180 of: 201, Est. Metro Tobalaba

Pagina Web: www.heliplast.cl mail : christof.horn@heliplast.cl

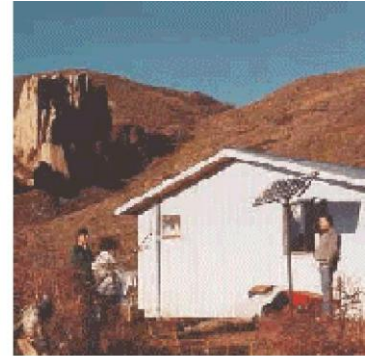
2

3.- Sistema AVANZADO 12 Volt 75 Wp

Este sistema genera en promedio en Chile Central 15 Amp - hora por día, lo que equivale a un consumo promedio de 10 horas de una lámpara de 7 Watt y de 5 horas de TV Blanco y



MODULO SQ 75
1200 X 527 mm



negro en 12 Volt.

El sistema se compone de un módulo de 75 Watt un regulador de carga de 12 Amp e incluye cuatro lámparas de bajo consumo de 7 Watt en 12 Volt con rosca E-27. Deberá agregar además una batería de 12 Volt del tipo baja mantención y descarga profunda con una capacidad mínima de 150 Ah.

Valor total referencial \$ 404.000.- más IVA

Regulador SR 12
7 Watt

Solsum

4.- Sistema SUPER 12 Volt 100 Wp

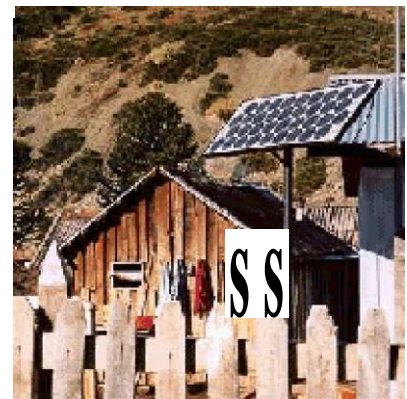
Este sistema genera en promedio en Chile - Central 20 Amp - hora por día, lo que equivale a un consumo promedio de 14 horas de una lámpara de 11 Watt y de 4 horas de TV blanco y negro en 12 Volt.

El sistema se compone de un módulo de 100 Watt un regulador de carga de 20 Amp e incluye seis lámparas de bajo consumo de 11 Watt en 12 Volt con rosca E-27

Deberá agregar además una batería de 12 Volt del tipo baja mantención y descarga profunda con una capacidad mínima de 200 Ah.

Cada lámpara SOLSUM de 11 Watt en 12 Volt tiene una luminosidad equivalente a una lámpara incandescente de 60 Watt.

Valor total referencial \$ 579.000.- más IVA



MODULO SM 100

1498 X 594 mm



Regulador SR 20

Solsum 11 Watt

No están consideradas las estructuras de soporte para Paneles, cuyas características dependerán del lugar de instalación, igualmente no están considerados los costos de instalación y materiales eléctricos de cada dependencia de las mismas casas.

Los valores son solo referenciales, favor consultar a:

HELIPLAST – CHRISTOF HORN Y CIA LTDA

Energía Solar - Santiago - CHILE - Tel. 3340800 - 3346904 - Fax Anexo 24

Nueva dirección Luis Thayer Ojeda 0180 of: 201, Est. Metro Tobalaba

Pagina Web: www.heliplast.cl mail : christof.horn@heliplast.cl

5.- Sistema CASA BASE 220Volt 150 Wp.

2 Paneles Fotovoltaicos SHELL Solar SQ75 de 75 Wp. 4.8 Acc 1 Inversor FRONIUS Sinusoidal 12/550 220 Volt 50Hz 1500 Wp con regulador de carga incorporado.

Valor total referencial \$ 1.042.000.- más IVA

Deberá agregar además dos Baterías de 12 Volt del tipo de baja mantención y descarga profunda del comercio local con una capacidad mínima de 150 Ah cu.

Este sistema permite un consumo promedio en Chile Central de 0.45 kWh por día en 220 Volt, siendo posible alimentar artefactos eléctricos como TV a color , Video, Equipo de música , Computador Personal, Lámparas de bajo consumo, etc. Las Potencias de los Equipos que pueden conectarse simultáneamente no pueden sumar más que 550 Watt.

6.- Sistema CONFORT BASE 220Volt 200 Wp.

4 Paneles Fotovoltaicos SHELL Solar SM50 de 50 Wp. 3.4 Acc 1 Inversor FRONIUS Sinusoidal 12/550 220 Volt 50Hz 1500 Wp con regulador de carga incorporado.

Valor total referencial \$ 1.432.000.- más IVA

Deberá agregar además dos Baterías de 12 Volt del tipo de baja mantención y descarga profunda del comercio local con una capacidad mínima de 200 Ah cu.

Este sistema permite un consumo promedio en Chile Central de 0.6 kWh por día en 220 Volt, siendo posible alimentar artefactos eléctricos como Refrigerador de mesa (70 a 90 Watt), Centro de cocina, Juguera, Taladro eléctrico, TV a color, Vídeo, Equipo de música, Computador Personal, Lámparas de bajo consumo, etc. Las Potencias de los Equipos que pueden conectarse simultáneamente no pueden sumar más que 550 Watt.

No están consideradas las estructuras de soporte para Paneles, cuyas características dependerán del lugar de instalación, igualmente no están considerados los costos de instalación y materiales eléctricos de cada dependencia de las mismas casas.

Los valores son solo referenciales, favor consultar a:

HELIPLAST – CHRISTOF HORN Y CIA LTDA

Energía Solar - Santiago - CHILE - Tel. 3340800 - 3346904 - Fax Anexo 24

Nueva dirección Luis Thayer Ojeda 0180 of: 201, Est. Metro Tobalaba

Pagina Web: www.heliplast.cl mail : christof.horn@heliplast.cl

7.- Sistema CONFORT STANDARD 220Volt 300 Wp.

4 Paneles Fotovoltaicos SHELL Solar SQ75 de 75 Wp. 4.8 Acc

1 Inversor FRONIUS Sinusoidal 24Volt 900Watt 220Volt 50Hz 1800 Wp con regulador de carga incorporado.

Valor total referencial \$ 1.800.000- más IVA

Deberá agregar además un Banco de Baterías con una capacidad mínima de 300 Ah en 24 Volt del tipo de baja mantención y descarga profunda del comercio local Este sistema permite un consumo promedio en Chile Central de 0.9 kWh por día en 220 Volt, siendo posible alimentar artefactos eléctricos como Refrigerador hasta (120 Watt), Centro de cocina , Juguera, Taladro eléctrico, TV a color, Vídeo, Equipo de música, Computador Personal, Lámparas de bajo consumo, etc. Las Potencias de los Equipos que pueden conectarse simultáneamente no pueden sumar más que 900 Watt.

8.- Sistema CONFORT SUPER 220Volt 450 Wp.

6 Paneles Fotovoltaicos SHELL Solar SQ75 de 75 Wp. 4.8 Acc 1 Regulador de Carga

SR30 con desconexión de bajo voltaje. 1 Inversor Xantrex Combi 12/1500/70 12/220 Volt 50Hz

Valor total referencial \$ 2.612.000- más IVA

Deberá agregar además tres Baterías de 12 Volt del tipo de baja mantención y descarga profunda del comercio local con una capacidad mínima de 200 Ah cu. Este sistema permite un consumo promedio en Chile Central de 1.35 kWh por día en 220 Volt, por lo tanto el consumo no podrá superar estos valores. En el caso que necesite atender, en ocasiones un consumo mayor, puede integrar el inversor Xantrex Combi 12/1500/70 que le permite, hacer funcionar su instalación en forma híbrida. Es decir por cada hora de funcionamiento de un pequeño motor generador puede almacenar en las baterías 0.8 kWh adicionales. Las Potencias de los Equipos que pueden conectarse simultáneamente no pueden sumar más que 1500 Watt.

No están consideradas las estructuras de soporte para Paneles, cuyas características dependerán del lugar de instalación, igualmente no están considerados los costos de instalación y materiales eléctricos de cada dependencia de las mismas casas.

Los valores son solo referenciales, favor consultar a:

HELIPLAST – CHRISTOF HORN Y CIA LTDA

Energía Solar - Santiago - CHILE - Tel. 3340800 - 3346904 - Fax Anexo 24

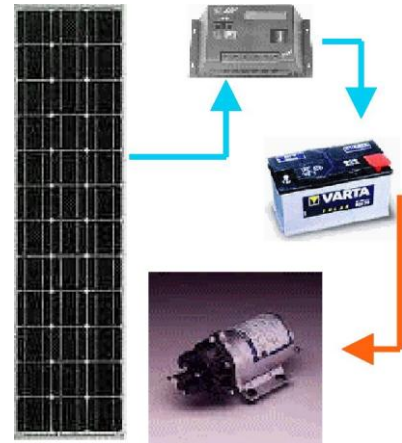
Nueva dirección Luis Thayer Ojeda 0180 of: 201, Est. Metro Tobalaba

Página Web: www.heliplast.cl mail : christof.horn@heliplast.cl

5

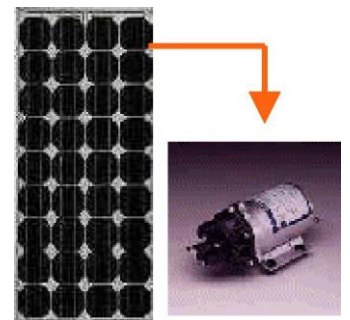
SISTEMAS FOTOVOLTAICOS SHELL SOLAR PARA BOMBEO DE AGUA DOMICILIARIO.

SISTEMA 1 : DOMICILIAR 12 VOLT



Se compone de

1 Módulo FOTOVOLTAICO SM50



1 Regulador de carga SR 8

1 Batería de 100Ah (No considerada en valor)

1 Bomba de Membrana SH 12 Volt

En un día solar promedio de Verano (Octubre a Abril), este sistema es capaz de elevar 1300 Lts de agua a una altura de 15 metros. El tiempo de funcionamiento de la bomba depende de la carga de la batería, siendo posible operar la bomba a cualquier hora del día.

Valor referencial del sistema \$ 378.000.- más IVA SISTEMA 2 : CONVERSIÓN

DIRECTA

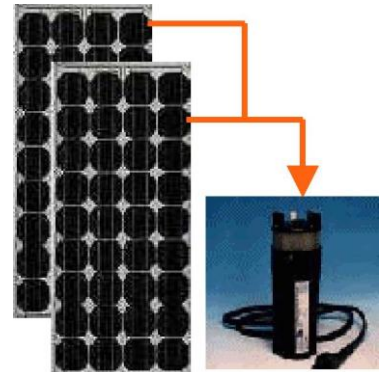
Se compone de : 1 Módulo FOTOVOLTAICO SQ 75 75Wp : 1 Bomba de Membrana SHR 24 Volt

En un día solar promedio de Verano (Octubre a Abril), este sistema es capaz de elevar 2000 Lts de agua a una altura de 15 metros. El caudal y la altura de elevación de la Bomba está en relación directa con la intensidad de radiación del momento.

Valor referencial del sistema \$ 451.000.- más IVA

SISTEMA 3 : CONVERSIÓN DIRECTA SUMERGIBLE

Se compone de : 2 Módulo FOTOVOLTAICOS SP65 65Wp : 1 Bomba de SUMERGIBLE 9300 24 Volt
En un día solar promedio de Verano (Octubre a Abril), este sistema es capaz de elevar un



volumen superior a 1500 Lts de agua a una altura de 50 metros. El caudal y la altura de elevación de la Bomba está en relación directa con la intensidad de radiación del momento.

Valor referencial del sistema \$ 1.168.000.- más IVA

En los valores de los sistemas no están incluidos los materiales hidráulicos, ni los materiales de instalación eléctrica, ya que dependen de las características propias del lugar de instalación del sistema.

Las indicaciones de caudal y altura de elevación son referencias aproximadas que podrán variar según las características individuales de cada instalación. Estos sistemas corresponden a ejemplos típicos de instalaciones realizadas y pueden ser modificados conforme a la necesidad. Disponemos de elementos para configurar sistemas de bombas impulsadas por energía solar hasta potencias superiores a 5 Hp.

Los valores son solo referenciales, favor consultar a:

HELIPLAST – CHRISTOF HORN Y CIA LTDA

Energía Solar - Santiago - CHILE - Tel. 3340800 - 3346904 - Fax Anexo 24

Nueva dirección Luis Thayer Ojeda 0180 of: 201, Est. Metro Tobalaba

Página Web: www.heliplast.cl mail : christof.horn@heliplast.cl

6

FAX

A

De

Firma	Heliplast Ltda.
Nombre	Christof Horn
Lugar	Santiago
Teléfono	2 - 361 42 49
Fax	2 - 361 42 01
Mail	christof.horn@heliplast.cl

Firma	
Nombre	
Lugar	
Teléfono	
Fax	
Mail	

ja de calculo para la determinación del consumo

Lugar de Instalación		Longitud	
Ciudad mas cerca		Latitud	
Región		Altura [m]	

Para los cálculos se usará la unidad de “Wattthora” como unidad de energía. Si un artefacto eléctrico indica en su placa de característica una potencia de 11 Watt por ejemplo una ampollita, al estar encendida durante una hora gastará 11 Wattoras, si está encendida durante 2 horas gastará el doble o sea 22 Wattoras y así sucesivamente.

Sumando todos los consumos del día se obtendrá la cantidad de energía en Wattoras que debería cosecharse como promedio por día con el sistema solar.

Cuadro 1 Artefactos que funcionan con 12 Volt corriente continua (DC)

Item	Consumidor Descripción	A Cantidad	B Potencia en Watt	C Horas Servicio promedio/día	AxBxC Consumo en Wattthora/día
1					
2					
3					
4					
5					
6					
Consumo total en Wattoras por día (Suma de AxBxC)					

Cuadro 2 Artefactos que funcionan con 220 Volt corriente alterna (AC)

Item	Consumidor Descripción	A Cantidad	B Potencia en Watt	C	AxBxC Consumo en
1					
2					
3					
4					
5					
6					
Consumo total en Wattoras por día (Suma de AxBxC)					

Favor rellenar las casillas como indica en **Cuadro 1** y **Cuadro 2** y reenviar esta hoja por Fax o E – Mail para su posterior cotización.

Los valores son solo referenciales, favor consultar a:
HELIPLAST – CHRISTOF HORN Y CIA LTDA
Energía Solar - Santiago - CHILE - Tel. 3340800 - 3346904 - Fax Anexo 24
Nueva dirección Luis Thayer Ojeda 0180 of: 201, Est. Metro Tobalaba
Pagina Web: www.heliplast.cl mail : christof.horn@heliplast.cl

Latacunga, 2010

REALIZADO POR:

ALEXANDER FRANCISCO TELLO CÓNDROR

APROBADO POR:

ING. MARIO JIMÉNEZ
COORDINADOR DE LA CARRERA INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA

CERTIFICADO POR:

DR. EDUARDO VÁSQUEZ
SECRETARIO ACADEMICO

