

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

UNIDAD ACADÉMICA DE CIENCIAS DE LA

INGENIERÍA Y APLICADAS



INGENIERÍA ELÉCTRICA

TESIS DE GRADO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO ELÉCTRICO EN SISTEMAS ELÉCTRICOS DE POTENCIA

TEMA:

“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA EFICIENTE DE ALIMENTACIÓN SOLAR, MEDIANTE ACUMULADORES DE ENERGÍA, PARA UN VEHÍCULO ELECTRICO”.

AUTORES:

NÚÑEZ NÚÑEZ MANUEL ORLANDO
SALAZAR MOLINA CARLOS MANUEL

DIRECTOR:

ING. MARCELO BARRERA

LATACUNGA, JUNIO DEL 2014.

AUTORÍA

Los postulantes, declaramos bajo juramento que el trabajo de investigación aquí descrito es de nuestra autoría, además que este trabajo de investigación no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación personal y que se ha consultado en dichas bibliografías que se vinculan en este manuscrito.

.....
Manuel Orlando Núñez Núñez
C.I. 1803651999

.....
Carlos Manuel Salazar Molina
C.I. 0501780753

AVAL DEL DIRECTOR

En calidad de Director del Trabajo de Investigación sobre el tema:

“Diseño y Construcción de un Sistema Eficiente de Alimentación Solar, mediante Acumuladores de Energía, para un Vehículo Eléctrico”, de **Manuel Orlando Núñez Núñez** y **Carlos Manuel Salazar Molina**, egresados de la Carrera de Ingeniería Eléctrica, considero que dicho informe investigativo cumple con los requerimientos Metodológicos y aportes Científicos – Técnicos suficientes para ser sometida a la evaluación del Tribunal de Grado, que el Honorable Consejo Académico de la Unidad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas de la Universidad Técnica de Cotopaxi designe, para su correspondiente estudio y calificación.

Latacunga, 10 de Junio del 2014

Ing. Eléc. Marcelo Barrera

DIRECTOR DE TESIS

AVAL DEL ASESOR METODOLÓGICO

En calidad de Asesor Metodológico del Trabajo de Investigación sobre el tema:

“Diseño y Construcción de un Sistema Eficiente de Alimentación Solar, mediante Acumuladores de Energía, para un Vehículo Eléctrico”, de **Manuel Orlando Núñez Núñez** y **Carlos Manuel Salazar Molina**, egresados de la Carrera de Ingeniería Eléctrica, considero que dicho informe investigativo cumple con los requerimientos Metodológicos y aportes Científicos – Técnicos suficientes para ser sometida a la evaluación del Tribunal de Grado, que el Honorable Consejo Académico de la Unidad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas de la Universidad Técnica de Cotopaxi designe, para su correspondiente estudio y calificación.

Latacunga, 10 de Junio del 2014

PhD. Medardo Ulloa.

ASESOR METODOLÓGICO



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
CENTRO CULTURAL DE IDIOMAS**



AVAL DE TRADUCCIÓN

En calidad de Docente del Centro Cultural de Idiomas de la Universidad Técnica De Cotopaxi, yo MSc. Sonia Jimena Castro Bungacho con la C.C. 050197472-9 CERTIFICO que he realizado la respectiva revisión de la Traducción del Abstract; con el tema: “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA EFICIENTE DE ALIMENTACIÓN SOLAR, MEDIANTE ACUMULADORES DE ENRGÍA, PARA UN VEHÍCULO ELÉCTRICO” EN EL PERÍODO SEPTIEMBRE 2012 – FEBRERO 2013” cuyos autores son: Núñez Núñez Manuel Orlando y Salazar Molina Carlos Manuel con el director de tesis Ing. Marcelo Barrera.

Latacunga, 10 de Junio del 2014

Docente:

MSc. Sonia Jimena Castro Bungacho

C.I. 050197472-9

AGRADECIMIENTO

Primeramente agradezco a Dios, a mis padres quienes con su incansable e incondicional apoyo, esfuerzo y sacrificio, que día a día han sido el cimiento fundamental que necesitaba para culminar con éxito la carrera, en base a sus principios y ejemplos inculcados en toda mi vida.

A la Universidad Técnica de Cotopaxi por haberme dado la oportunidad de pertenecer a tan prestigiosa institución, y en especial a la Unidad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas, en la carrera de Ingeniería en Sistemas Eléctricos de Potencia, que en el transcurso de estos años supo brindarnos conocimientos para una formación profesional y ser personas útiles a la sociedad y sobre todo para el país.

MANUEL NÚÑEZ

DEDICATORIA

Con profundo cariño dedico este proyecto a mi Dios por guiarme en cada paso de mi vida.

A quienes la ilusión de su vida ha sido convertirme en persona de provecho, a quienes nunca podré pagar todos sus desvelos ni aún con las más grandes riquezas del mundo, a mis padres Manuel María y Esthela Fabiola que por su sacrificio, su ejemplo de superación incansable, su comprensión y confianza, me ha dado la oportunidad de existir, por su amor y amistad sincera e incondicional, gracias porque sin su apoyo no hubiera sido posible la culminación de mi carrera profesional.

MANUEL NÚÑEZ

AGRADECIMIENTO

Primeramente agradezco a Dios, a mi madre y a mis hermanos, quienes con su incansable e incondicional apoyo, esfuerzo y sacrificio, que día a día han sido el cimiento fundamental que necesitaba para culminar con éxito la carrera, en base a sus principios y ejemplos inculcados en toda mi vida.

A la Universidad Técnica de Cotopaxi por haberme dado la oportunidad de pertenecer a tan prestigiosa institución, y en especial a la Unidad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas, en la carrera de Ingeniería Eléctrica, que en el transcurso de estos años supo brindarnos conocimientos para una formación profesional y ser personas útiles a la sociedad y sobre todo para el país.

CARLOS SALAZAR

DEDICATORIA

El presente trabajo con el cual he alcanzado el sueño más anhelado y en el cual he plasmado todo el esfuerzo y sacrificio diario de todos los años de estudio le dedico a DIOS.

A mis padres Miguel Salazar y Eva Molina.

A mi esposa, Leticia Revelo, a mis hijos, Roberto, Camila y Michael, haciendo un extensivo agradecimiento a mis hermanos, por tener su apoyo incondicional en el transcurso de toda mi carrera universitaria y así llegando a la culminación con éxito.

Y a toda mi familia que de una u otra forma me guiaron con sus consejos.

CARLOS SALAZAR

INDICE GENERAL DE CONTENIDOS

	PAG.
PORTADA	
AUTORÍA.....	ii
AVAL DEL DIRECTOR.....	iii
AVAL DEL ASESOR METODOLÓGICO	iv
AVAL DE TRADUCCIÓN	v
AGRADECIMIENTO	vi
DEDICATORIA	vii
AGRADECIMIENTO	viii
DEDICATORIA	ix
INDICE GENERAL DE CONTENIDOS.....	x
INDICE DE GRÁFICOS	xiv
INDICE DE TABLAS	xvii
RESUMEN.....	xviii
ABSTRACT.....	xix
INTRODUCCIÓN	xx
CAPÍTULO I.....	1
1. MARCO TEÓRICO.....	1
1.1 La Energía Solar.....	1
1.1.1 Constante Solar.....	2
1.1.2 Radiación Solar Extraterrestre.....	2
1.1.3 Radiación Solar Terrestre.....	3
1.1.4 Irradiación.....	4
1.1.5 Horas de Sol Pico.....	5
1.2 Celdas Solares.....	6
1.2.1 Tipos de Celdas Solares.....	7
1.2.2 Funcionamiento de las Celdas Solares.....	11

1.2.3	Eficiencia de las Celdas Solares.....	13
1.2.4	Eficiencia Máxima y Pérdidas de las Celdas Solares.....	13
1.2.5	Paneles Solares.....	14
1.2.6	Curvas Características de los Paneles Fotovoltaicos (Curva I-V).....	15
1.2.7	Factores que Afectan la Característica (I-V) del Módulo Fotovoltaico.	16
1.3	Instrumentos de Medición de Radiación Solar.....	18
1.3.1	Actinómetro o Pirheliómetro.....	18
1.3.2	Piranómetro o Piranógrafo.....	19
1.3.3	Heliógrafo.....	20
1.4	Controlador de Carga Solar.....	21
1.4.1	Controlador de Carga Solar Tipo MPPT (Maximum Power Point Tracker).....	24
1.4.2	Controlador de Carga Solar Tipo PWM (Pulse Width Modulation).....	25
1.5	Bancos de Baterías.....	26
1.5.1	Baterías de Plomo Ácido.....	27
1.5.2	Baterías de Tracción.....	28
1.5.3	Baterías Estacionarias.....	29
1.5.4	Baterías Solares.....	30
1.5.5	Conexiones de Bancos de Baterías.....	31
1.5.5.3	Conexión Serie-Paralelo o Mixta.....	32
1.6	Dimensionamiento de Sistemas Fotovoltaicos Aislados.....	33
1.6.1	Estimación de Consumos.....	34
1.6.2	Tablas de Radiación Total para Ecuador – Cotopaxi.....	35
1.6.3	Dimensionamiento del Generador Fotovoltaico.....	36
1.6.4	Dimensionamiento del Sistema de Acumulación.....	39
1.6.5	Dimensionamiento del Controlador de Carga Solar.....	40
	CAPÍTULO II.....	42
	2. ANALISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....	42
2.1.1	Análisis del Mes Crítico de Irradiación Solar.....	42
2.1.2	Análisis de Carga del Sistema Fotovoltaico y por Corriente Alterna. ...	42

2.1.3	Análisis y Dimensionamiento del Sistema Fotovoltaico para el Vehículo Eléctrico.	44
	VERIFICACIÓN DE LA HIPOTESIS	50
	CAPÍTULO III.....	51
	OBJETIVOS DE LA PROPUESTA.....	51
3.	PROPUESTA.....	52
3.1	Propuesta para la Selección de Paneles Solares.	52
3.2	Disposición Espacial de las Celdas Solares sobre el Vehículo.	54
3.3	Dimensiones Máximas del Vehículo Eléctrico.	54
3.4	Dimensionamiento de los Módulos Solares.	56
3.5	Controlador de Carga Solar Programable.....	56
3.5.1	Funciones Básicas del Controlador de Carga Solar Programable.	57
3.5.2	Especificaciones.	58
3.5.3	Procedimientos para el Montaje del Controlador de Carga Solar.	59
3.6	Cargador de Baterías para el Sistema de Corriente Alterna.	61
3.7	Banco de Baterías.	69
3.8	Estructura.....	70
3.9	Análisis para el Ajuste del Límite Superior de Voltaje en el Banco de Baterías.....	70
3.10	Acoplamiento de los Paneles Solares.....	71
3.11	Pruebas Estáticas del Vehículo Eléctrico Solar.....	72
3.11.1	Pruebas de Carga con el Sistema Solar (C.C.).....	72
3.11.2	Pruebas de Carga con el Sistema de Corriente Alterna (C.A.).....	73
3.11.3	Pruebas de Acumulación en el Banco de Baterías.	74
3.12	Pruebas Dinámicas del Vehículo Eléctrico Solar.....	75
3.12.1	Pruebas de Energización en el Motor (C.C.) del Vehículo Eléctrico.....	76
3.12.2	Pruebas de Energización en el PLC y Ventilación para el Cargador del Banco de Baterías.....	78

3.12.3	Pruebas de Energización en los Faros.	79
3.12.4	Pruebas de Energización para las Direccionales y Parqueos.	79
3.12.5	Pruebas de Energización en el Pito.	80
3.13	Análisis de Costo Beneficio con Fuente Alternativa de (C.A.) para Cargar un Banco de Baterías de un Vehículo Eléctrico.	81
3.14	Análisis de Costo Beneficio con Fuente de Energías Alternativas Como es la Solar de (C.C.) para Cargar un Banco de Baterías para un Vehículo Eléctrico.....	85
	Conclusiones.	86
	Recomendaciones.....	87
	Glosario.....	89
	Bibliografía	92
	A n e x o s.	98
	Anexo N° 1.....	98
	Anexo N° 2.....	99
	Anexo N° 3.....	100

INDICE DE GRÁFICOS

Figura 1. 1 Variación de la Radiación Solar Extraterrestre durante el Año.....	3
Figura 1. 2 Datos de Irradiación Solar Global Anual Promedio en el Ecuador.	5
Figura 1. 3 Datos de Irradiación Solar Global Anual Promedio en Latacunga.....	6
Figura 1. 4 Celdas Solares.....	7
Figura 1. 5 Celda Solar Monocristalina.	8
Figura 1. 6 Celda Solar Policristalina.	9
Figura 1. 7 Celda Solar Amorfa.	10
Figura 1. 8 Funcionamiento de la Celda Solar.	11
Figura 1. 9 Eficiencia Máxima de las Celdas Solares.....	14
Figura 1. 10 Paneles Solares.	15
Figura 1. 11 Curva Característica de Paneles Solares (I-V).	16
Figura 1. 12 Efecto de la Irradiación Sobre la Característica (I-V) de un Panel Fotovoltaico Manteniendo la Temperatura Constante.	17
Figura 1. 13 Efecto de la Variación de Temperatura Sobre la Característica (I-V) de un Panel Fotovoltaico Manteniendo la Irradiancia Constante.....	18
Figura 1. 14 Pirheliómetro.	19
Figura 1. 15 Piranómetro.....	19
Figura 1. 16 Bandas de cartulina para Heliógrafo.....	20
Figura 1. 17 Heliógrafo.	21
Figura 1. 18 Controlador de Carga Solar.	22
Figura 1. 19 Producción del Panel Solar con un Controlador MPPT.	25
Figura 1. 20 Esquema Simplificado de un Acumulador.	27
Figura 1. 21 Batería de Plomo Acido.....	28
Figura 1. 22 Batería de Tracción.....	29
Figura 1. 23 Baterías Estacionarias.....	29
Figura 1. 24 Baterías Solares.	30
Figura 1. 25 Conexiones de un Banco de Baterías Tipo Serie.....	31
Figura 1. 26 Conexiones de un Banco de Baterías Tipo Paralelo.....	32
Figura 1. 27 Conexiones de un Banco de Baterías Tipo Serie-Paralelo o Mixto..	33
Figura 1. 28 Horas de Sol Estándar para Cotopaxi, Latacunga y Quito.	36

Figura 2. 1 Comportamiento del Voltaje, Corriente y Potencia de los Sistemas de Carga por Corriente Continua (C.C.) y Corriente Alterna (C.A.).....	44
Figura 3. 1 Vista Superior del Vehículo Eléctrico.	55
Figura 3. 2 Vista Lateral del Vehículo Eléctrico.....	55
Figura 3. 3 Chasis del Vehículo.	55
Figura 3. 4 Área de los Paneles Solares.	56
Figura 3. 5 Diagrama del Controlador de Carga Solar Programable.	61
Figura 3. 6 Calibración del Núcleo para Definir el Área.	63
Figura 3. 7 Diagrama del Cargador de Baterías con su Respectiva Placa.	66
Figura 3. 8 Diagrama para el Censo del Banco de Baterías con su Respectiva Placa.	67
Figura 3. 9 Diagrama Indicador del Estado del Banco de Baterías con su Respectiva Placa.....	68
Figura 3. 10 Diseño con Vistas Frontal y Lateral de la Estructura Metálica.	70
Figura 3. 11 Diseño con Vistas en Perspectiva para los Paneles Solares.	71
Figura 3. 12 Paneles Solares Acoplados en el Vehículo Eléctrico.	72
Figura 3. 13 Medición de Corriente Entregada por el Banco de Paneles Fotovoltaicos hacia el Banco de Baterías.....	73
Figura 3. 14 Medición de Voltaje Entregado por la Red de la Empresa Distribuidora para el Bobinado Primario del Transformador.	74
Figura 3. 15 Medición de Voltaje Rectificado para el Circuito del Cargador del Banco de Baterías.....	74
Figura 3. 16 Medición de voltaje en los bornes del banco de baterías a su plena carga.	75
Figura 3. 17 Medición de Voltaje en los Bornes del Banco de Baterías a su Mínima Carga.....	75
Figura 3. 18 Medición de Corriente Máxima de Arranque Consumida por el Motor de Corriente Continua (C.C.) de dos HP.....	76
Figura 3. 19 Medición del Consumo de Corriente Nominal Cuando el Motor se Estabiliza.	77

Figura 3. 20 Medición de Corriente Consumida por el Sistema de Control de 12V del PLC y la Ventilación del Cargador.	78
Figura 3. 21 Medición de Corriente Consumida por el Sistema de Iluminación Principal de 12V Incluido el PLC y Ventilador.	79
Figura 3. 22 Medición de Corriente Consumida por el PLC, Ventilación del Cargador, Iluminación de Faros, Direccionales de 12V.	80
Figura 3. 23 Medición de Corriente Consumida por el PLC, Ventilación del Cargador, Iluminación de Faros, Direccionales y Señales Acústicas de 12V.	81
Figura 3. 24 Curva de Carga Diaria Representativa.	85

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. 1 Principales Características de la Energía Solar.....	1
Tabla 1. 2 Valores de Irradiación Solar de Cotopaxi y Latacunga.	35
Tabla 2. 1Valores de Irradiación Solar de Cotopaxi y Latacunga.	42
Tabla 2. 2 Datos de Voltajes, Corrientes y Potencias de los Sistemas de Carga Solar de Corriente Continua (C.C.) y Corriente Alterna (C.A.).	43
Tabla 2. 3 Estimación de Consumo en el Vehículo Eléctrico.....	45
Tabla 3. 1Matriz de selección para paneles solares.	53
Tabla 3. 2 Especificaciones del Phocos CX48.....	59
Tabla 3. 3 Conductores Esmaltados para Bobinados.	65
Tabla 3. 4 Cargos tarifarios únicos emitidos por el CONELEC.....	83

RESUMEN

La gran mayoría de los vehículos en uso actualmente utilizan energías no renovables como el petróleo. Por lo que se propone diseñar y construir, un sistema eficiente de alimentación solar, mediante acumuladores de energía para movilizar un vehículo eléctrico. El uso de sistemas de dispositivos de estado sólido en este diseño al no tener partes móviles, reducen totalmente el mantenimiento, ruido, emisiones tóxicas, contaminación ambiental y electromagnética, todas estas cualidades hacen atractivos a estos sistemas para aplicarlos en los vehículos eléctricos. La metodología utilizada para el presente trabajo es el analítico sintético, el cual permite hacer múltiples análisis a partir de la observación de la radiación solar, para luego pasar a la descripción e identificación de las partes que conforman un sistema solar fotovoltaico, posteriormente plasmar en su totalidad el vehículo eléctrico solar. Obteniéndose los resultados para cargar un banco de baterías por medio de dos sistemas de carga independientes, como es el sistema solar que requiere un día con una radiación de cuatro horas de sol pico estándar o cargando con un sistema de corriente alterna (C.A.) para que el vehículo se pueda movilizar satisfactoriamente durante dos horas.

ABSTRACT

The majority of vehicles in use nowadays use non- renewable energy such as oil. It is proposed to design and build an efficient solar power system through energy storage in order to mobilize energy an electric vehicle. Systems using solid state devices in this design without moving parts, completely reduce maintenance, noise, toxic emissions, environmental and electromagnetic pollution, all of these qualities make attractive these systems for application in electric vehicles. The methodology used for this research is the synthetic analytical, which allows to do multiple analyzes from the observation of solar radiation, then turn to the description and identification of the parts that make up a solar photovoltaic system, then capture in its all solar electric vehicle. Obtaining the results to load a battery pack through two independent charging systems, such as the solar system that requires a day with a radiation standard of four hours sun or carrying a system of alternating current (AC) to the vehicle can mobilize for two hours successfully.

INTRODUCCIÓN

Durante los últimos años, debido al incremento del costo de los combustibles fósiles y los problemas relacionados con el medio ambiente derivados de su explotación, se asiste a un renacer de las energías renovables.

Las energías alternativas son fuentes de obtención de energía diferente a las tradicionales, además son renovables, inagotables y limpias ya que produce un impacto ambiental mínimo, sin destrucción del medio ambiente, lo que ayuda a disminuir el uso de fuentes de energías convencionales en todo el mundo.

En este proyecto se describe los antecedentes para el diseño y construcción de un sistema eficiente de alimentación solar, mediante acumuladores de energía para un vehículo eléctrico, el desarrollo de la instrumentación para medir las distintas variables y que permite realizar su caracterización, para obtener sus parámetros de operación (autonomía, corrientes máxima y promedio, potencias máximas y promedio).

Se obtiene resultados en el sistema planteado y se ejecuta análisis de pruebas en el vehículo eléctrico, operando únicamente con un banco baterías. Con el análisis de los resultados se elige los paneles solares adecuados para el sistema fotovoltaico, así como el sistema de carga por corriente continua y corriente alterna, obteniendo energía eléctrica que se almacena en un banco de baterías de manera eficiente.

Posteriormente se realiza el planteamiento para el acoplamiento de todo el sistema fotovoltaico, con el sistema eléctrico del vehículo obteniendo un sistema confiable.

El proyecto del vehículo eléctrico se plantea porque en el panorama energético de Ecuador y el mundo, los pronósticos prevén escasez de energías no renovables entre diez o veinte años, por lo que es urgente empezar a desarrollar tecnologías para producir energía, una opción viable es la energía solar. Esta energía se puede obtener de fuentes renovables como la solar, la eólica o la biomasa consideradas fuentes de energía limpia.

Un planteamiento para la producción de energía eléctrica es utilizar un sistema de generación fotovoltaica, que esté conectado constantemente al banco de baterías, y en los momentos que no exista demanda, esta energía producida por el sistema se almacena en el banco de baterías.

En el futuro con el aprovechamiento de la investigación de nuevas tecnologías, la eficiencia pueden mejorar y los costos se reducirán, esto es importante ya que las celdas fotovoltaicas son relativamente caras, pero tienen una vida útil prolongada y bajos costos de mantenimiento.

En el presente estudio se plantea un sistema de carga mixta por corriente alterna C.A., y por corriente continua C.C., ya que si se combinan los dos sistemas, se llega a tener una mejor relación costo-beneficio. Así se logra tener un mejor desempeño del vehículo eléctrico y se invierte menos dinero para recargar el banco de baterías.

CAPÍTULO I

1. MARCO TEÓRICO.

1.1 La Energía Solar.

La energía solar es emitida por el sol permanentemente y es recibida en la tierra a manera de ondas electromagnéticas. Esta energía presenta diversas ventajas con respecto al resto de las fuentes de energía, como también algunas desventajas y problemas de utilización. A continuación, se presentan las principales características de la energía solar en la tabla 1.1:

VENTAJAS	DESVENTAJAS
Es Inagotable	Necesita grandes áreas para el montaje de Sistemas Fotovoltaicos.
100% Limpia	Radiación variable
Menos Ruidosa	Alta inversión inicial

Tabla 1. 1 Principales Características de la Energía Solar.

Conocidas las características esenciales de la energía solar, se presenta un estudio y diseño de un sistema fotovoltaico como posible fuente de energía para un vehículo eléctrico.

1.1.1 Constante Solar.

Con el fin de cuantificar la cantidad de energía solar por unidad de tiempo, se define lo que se conoce como “Constante Solar”. Ésta se mide de manera perpendicular sobre una superficie de 1 m^2 , la cual debe estar ubicada fuera de la atmósfera terrestre a una distancia igual a la distancia promedio entre el sol y la tierra. Esta constante representa la densidad de potencia sobre el tope de la atmósfera. El World Radiation Center (WRC) es el organismo encargado de establecer un valor de referencia radiométrica mundial WRR (World Radiometric Reference) para la constante solar.

(Brusa, C. Fröhlich y R., 1981, págs. 209-215)

Actualmente, el valor de esta referencia es:

I_{SC} = Intensidad de constante solar

$$I_{SC} = 1360 \frac{W}{m^2}$$

1.1.2 Radiación Solar Extraterrestre.

La radiación solar extraterrestre es medida fuera de la atmósfera terrestre. Esta radiación fluctúa durante el año, debido a la variación de la distancia entre el sol y la tierra. Esta variación es calculada mediante la ecuación siguiente y su muestra gráficamente en la figura 1. 1.

G = Radiación global

n = número del día del año ($1 < n < 365$).

I_{SC} = Intensidad de constante solar.

$$G(n) = I_{SC} \cdot \left(1 + 0,033 \cdot \cos\left(\frac{360 * n}{365}\right) \right)$$

Ecuación 1. Radiación Solar Extraterrestre.

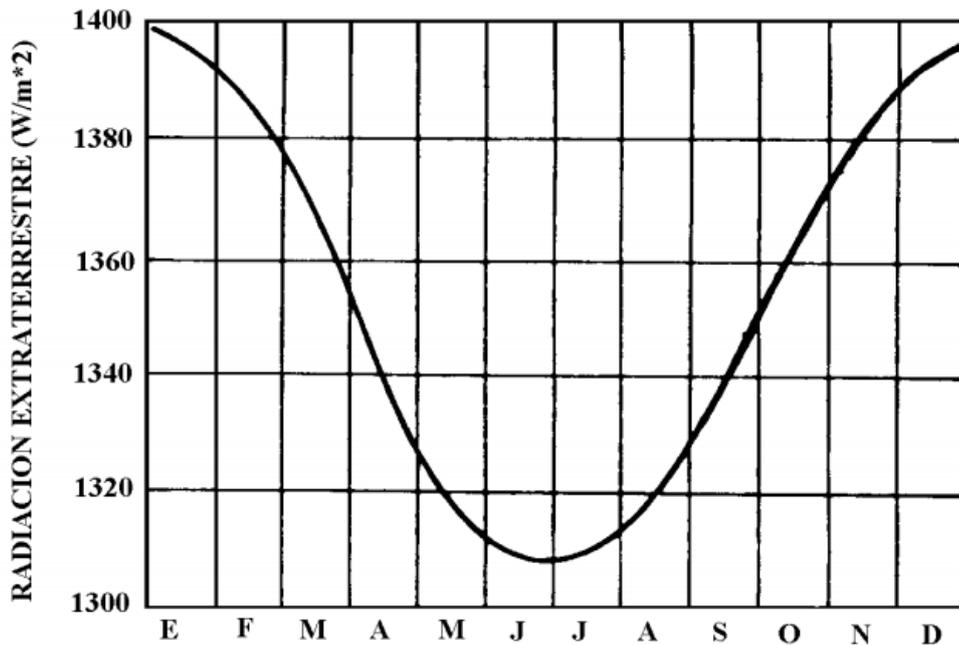


Figura 1. 1 Variación de la Radiación Solar Extraterrestre durante el Año.

Esta función tiene una variación de máximo 3.3 %, con el máximo de 1399 W/m² el 1 de enero y el mínimo de 1309 W/m² el 1 de julio.

(http://www.corpoema.com/CDenergia/FV_Anexo2.PDF)

1.1.3 Radiación Solar Terrestre.

La energía solar, antes de llegar a la superficie terrestre tiene que atravesar la atmósfera, en donde se ve afectada tanto en su dirección como en su densidad, debido a la interacción de la radiación con la materia. Además, la dirección con la cual incide la radiación solar directa depende no solamente de la localización geográfica y de la orientación del dispositivo solar, sino también de la época del año.

(http://www.corpoema.com/CDenergia/FV_Anexo2.PDF)

1.1.4 Irradiación.

La Irradiación representa la cantidad de potencia por unidad de superficie, con el fin de proporcionar un estándar en la industria fotovoltaica, FV, los fabricantes de paneles han adoptado por definir una nueva unidad llamada SOL. Con éste valor, se determina la máxima potencia eléctrica de salida de un panel fotovoltaico, FV y, además, es de gran utilidad para comparar paneles de distintas procedencias.

$$1 \text{ SOL} = \frac{1 \text{ KW}}{m^2}$$

Dentro del Ecuador existen varios lugares muy convenientes para la utilización de paneles fotovoltaicos, especialmente en el sur de la provincia de Loja, el noreste de la provincia del Azuay, las zonas de altiplano al sur de Riobamba y las circundantes al nevado Chimborazo, el callejón interandino central y norte desde Ambato hasta el valle del Chota, la zona costera de la provincia de Esmeraldas, gran parte del Oriente ecuatoriano, en especial la zona ubicada entre Lago Agrio y la Joya de los Sachas, entre otros.

Lamentablemente, gran parte de la región costa, ubicada entre el sureste de Esmeraldas y el Oro, no es idóneo para la utilización de sistemas fotovoltaicos, puesto que las condiciones climáticas y de vegetación hacen que en esta zona exista nubosidad la mayor parte del tiempo, reduciendo en gran forma la captación de radiación solar directa, tal como se puede observar en la figura 1. 2.

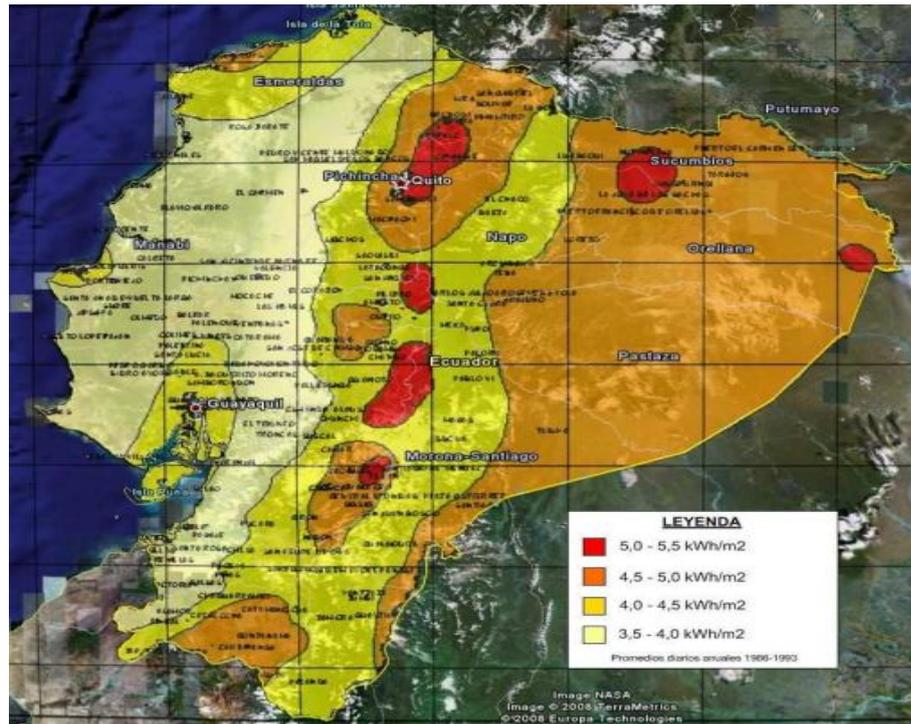


Figura 1. 2 Datos de Irradiación Solar Global Anual Promedio en el Ecuador.

(<http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/2239/1/CD-2536.pdf>, pág. 20).

1.1.5 Horas de Sol Pico.

En sistemas fotovoltaicos, SFV, se emplea el concepto de “horas de sol estándar (hss)” u “horas de sol pico”. hss se da como.

$$hss = \frac{\text{Radiación sobre superficie horizontal durante un día } (kWh/m^2)}{1 kWh/m^2}$$

Ecuación 2. Horas de Sol Pico.

De acuerdo a la tabla 1. 2 de irradiación solar mensual, si en el cantón Latacunga se tiene una radiación solar diaria de $4,32 \text{ kW h/m}^2$, entonces en ese lugar se tienen 4,32 hss, como se muestra en la figura 1. 3. En otros términos, cuando la radiación se da en kW h/m^2 , el número corresponde al número de hss.

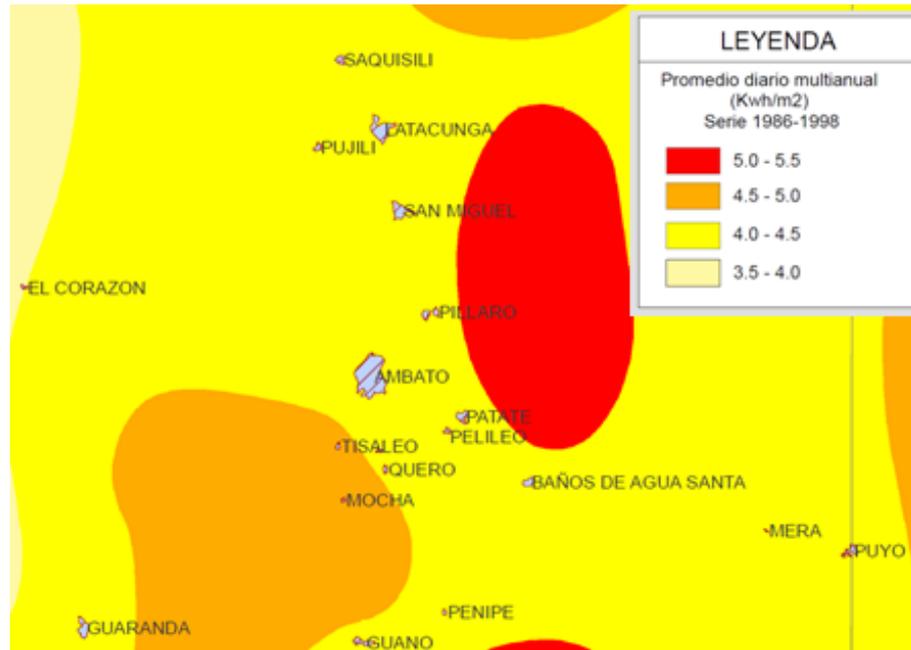


Figura 1. 3 Datos de Irradiación Solar Global Anual Promedio en Latacunga.

(http://www.inamhi.gob.ec/mapas/3%20Irradiacion%20global_A0.pdf)

1.2 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 a energía química.

La forma más común de las celdas solares se basa en el efecto fotovoltaico, en el cual la luz que incide sobre un dispositivo semiconductor de dos capas produce una diferencia del fotovoltaje o del potencial entre las capas. Este voltaje es capaz de conducir una corriente a través de un circuito externo de modo de producir trabajo útil. Ver figura 1. 4.



Figura 1. 4 Celdas Solares.

1.2.1 Tipos de Celdas Solares.

En nuestro propio planeta el silicio esta por todas partes, un 27% de la corteza terrestre está hecha de silicio, pero este se encuentra unido a un sinnúmero de elementos. El silicio no es un metal, pero si se mezcla silicio puro con cantidades muy pequeñas de otros elementos se pueden modificar sus propiedades eléctricas de forma muy precisa, lo que lo hace un material muy utilizado como semiconductor en electrónica.

Las celdas fotovoltaicas generalmente están compuestas por silicio tratado o dopado, de modo de cuando recibe luz solar se liberan electrones y por ende se genera electricidad. El silicio para utilizarse en electrónica debe de tener una pureza extraordinaria, así como una estructura a escala atómica muy ordenada. En mercado se puede encontrar silicio relativamente puro a un precio muy bajo, sin embargo, este silicio no puede utilizarse aun como semiconductor en electrónica o como parte de un panel solar, ya que tiene impurezas y sus átomos se encuentran desordenados, lo que hace que los electrones no se desplacen adecuadamente.

Hay tres tipos de celdas fotovoltaicas, las cristalinas (monocristalinas o policristalinas) y las amorfas:

1.2.1.1 Celdas Solares Monocristalinas.

Cuando se requiere de un silicio de mayor pureza y eficiencia eléctrica, es posible entonces obtener silicio monocristalino, en el que el bloque entero de silicio es un único cristal perfecto lo que asegura que los electrones se desplacen más libremente. Las celdas fotovoltaicas de silicio monocristalino se obtienen a partir de barras largas y cilíndricas de silicio monocristalino producidas mediante procesos complejos y muy costosos; cada barra se corta en forma de obleas de medio milímetro de espesor, para su posterior uso en la fabricación de circuitos integrados. Estas células generalmente son un azul uniforme como se aprecia en la figura 1. 5.



Figura 1. 5 Celda Solar Monocristalina.

Este tipo de celdas alcanzan eficiencias de alrededor 16%.

Ventajas:

- Buen rendimiento de 14% al 16%.
- Buena relación $W_p \text{ m}^2$ (~150 WC/m², lo que ahorra espacio en caso necesario.
- Número de fabricantes elevado.

Desventajas:

- Coste elevado.

1.2.1.2 Celdas Solares Policristalinas.

El silicio policristalino está conformado por pequeños cristales de una enorme pureza que hace que sus propiedades eléctricas sean muy diferentes del silicio amorfo. Para que un electrón recorra una micra por un cristal ordenado es un verdadero viaje comparado con el silicio amorfo. El silicio policristalino se usa en paneles solares. Las celdas fotovoltaicas policristalinas son más baratas, pero menos eficientes que las celdas fotovoltaicas monocristalinas; son cuadradas, de modo que cubra mayor área del panel solar, sin embargo, los paneles solares con celdas policristalinas producen menos energía eléctrica que las celdas fotovoltaicas monocristalinas tomando en cuenta un panel solar del mismo tamaño. La fotocélula es de aspecto azulado, pero no es uniforme, se distinguen diferentes colores como se aprecia en la figura 1. 6.

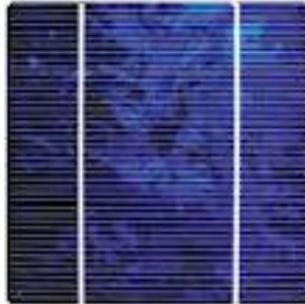


Figura 1. 6 Celda Solar Policristalina.

Este tipo de celdas alcanzan eficiencias de conversión de alrededor 14%.

Ventajas:

- Células cuadradas que permite un mejor funcionamiento en un módulo.
- Eficiencia de conversión óptima, alrededor de 100 Wp/m², pero un poco menor que en el monocristalino.
- Lingote más barato de producir que el monocristalino.

Desventajas:

- Bajo rendimiento en condiciones de iluminación baja.

1.2.1.3 Celdas Solares Amorfas.

Este tipo de celdas fotovoltaicas normalmente se utilizan en pequeños paneles solares, como los de las calculadoras, relojes o las lámparas de jardín, aunque cada vez son más utilizadas en aplicaciones de mayor tamaño. Se fabrican depositando una película delgada de silicio sobre una hoja de otro material tal como acero. El panel está formado de una pieza y las celdas individuales no son visibles a simple vista. La eficiencia de paneles solares fabricados con celdas fotovoltaicas amorfas no es tan alta como las hechas de celdas fotovoltaicas individuales, aunque esto ha mejorado en los últimos años al punto donde pueden verse como una alternativa practica a los paneles realizados con celdas fotovoltaicas cristalinas. Su gran ventaja reside en su costo ya que este es relativamente bajo. Sin embargo, por su baja eficiencia, se requieren más paneles solares en un mayor espacio para generar la misma potencia de salida y el espacio que los paneles solares fabricados de celdas fotovoltaicas cristalinas apreciándose así en la figura 1. 7. Su eficiencia de conversión es de aproximadamente un 8%.



Figura 1. 7 Celda Solar Amorfa.

1.2.2 Funcionamiento de las Celdas Solares.

Para entender la operación de una célula fotovoltaica, necesitamos considerar la naturaleza del material y la naturaleza de la luz del sol. Las celdas solares están formadas por dos tipos de material, generalmente silicio tipo p y silicio tipo n. La luz de ciertas longitudes de onda puede ionizar los átomos en el silicio y el campo interno producido por la unión que separa algunas de las cargas positivas ("agujeros") de las cargas negativas (electrones) dentro del dispositivo fotovoltaico. Los agujeros se mueven hacia la capa positiva o capa de tipo p y los electrones hacia la negativa o capa tipo n. 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 interno. Por lo tanto si se hace un circuito se puede producir una corriente a partir de las celdas iluminadas, puesto que los electrones libres tienen que pasar a través del circuito para recombinarse con los agujeros positivos. Ver figura 1. 8.

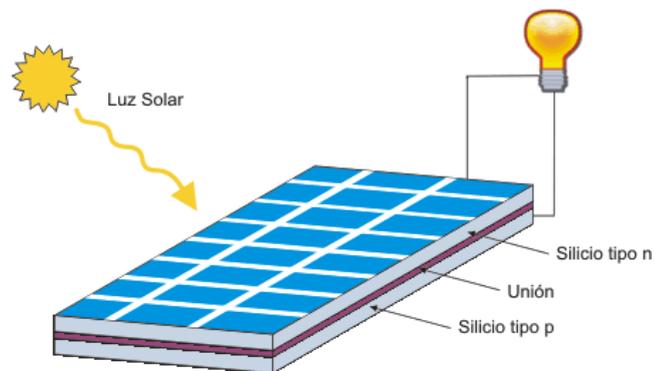


Figura 1. 8 Funcionamiento de la Celda Solar.

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

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

- La longitud de onda de la luz del sol.

Por ejemplo, las celdas solares de silicio monocristalino actualmente no pueden convertir más el de 25% de la energía solar en electricidad, porque la radiación en la región infrarroja del espectro electromagnético no tiene suficiente energía como para separar las cargas positivas y negativas en el material. Las celdas solares de silicio policristalino en la actualidad tienen una eficiencia de menos del 20% y las celdas amorfas de silicio tienen actualmente una eficiencia cerca del 10%, debido a pérdidas de energía internas más altas que las del silicio monocristalino.

Una típica célula fotovoltaica de silicio monocristalino de 100 cm^2 producirá cerca de 1.5 vatios de energía a 0.5 voltios de Corriente Continua y 3 amperios bajo la luz del sol en pleno verano (el 1000 Wm^2). La energía de salida de la célula es casi directamente proporcional a la intensidad de la luz del sol. (Por ejemplo, si la intensidad de la luz del sol se divide por la mitad la energía de salida también será disminuida a la mitad).

Una característica importante de las celdas fotovoltaicas es que el voltaje de la célula no depende de su tamaño, y sigue siendo bastante constante con el cambio de la intensidad de luz. La corriente en un dispositivo, sin embargo, es casi directamente proporcional a la intensidad de la luz y al tamaño. Para comparar diversas celdas se las clasifica por densidad de corriente, o amperios por centímetro cuadrado del área de la célula.

La potencia entregada por una célula solar se puede aumentar con bastante eficacia empleando un mecanismo de seguimiento para mantener el dispositivo fotovoltaico directamente frente al sol, o concentrando la luz del sol usando lentes o espejos. Sin embargo, hay límites a este proceso, debido a la complejidad de los mecanismos, y de la necesidad de refrescar las celdas. La corriente es relativamente estable a altas temperaturas, pero el voltaje se reduce, conduciendo a una caída de potencia a causa del aumento de la temperatura de la célula. Otros tipos de materiales fotovoltaicos que tienen potencial comercial incluyen el

diselenide de cobre e indio (CuInSe₂) y telurio de cadmio (CdTe) y silicio amorfo como materia prima.

(<http://www.textoscientificos.com/energia/celulas>)

1.2.3 Eficiencia de las Celdas Solares.

La eficiencia de una célula solar (η , "eta"), es el porcentaje de potencia convertida en energía eléctrica de la luz solar total absorbida por un panel, cuando una célula solar está conectada a un circuito eléctrico. Este término se calcula usando la relación del punto de potencia máxima, P_m , dividido entre la luz que llega a la celda, irradiancia (E , en W/m²), bajo condiciones estándar y el área superficial de la célula solar (A_c en m²).

$$\eta = \frac{P_m}{E * A_c}$$

Ecuación 3. Eficiencia de Celdas Solares.

Los estándares especifican una temperatura de 25 °C y una irradiancia de 1000 W/m² con una masa de aire espectral de 1,5 (AM 1,5).

(http://es.wikipedia.org/wiki/Panel_fotovoltaico)

1.2.4 Eficiencia Máxima y Pérdidas de las Celdas Solares.

En el año 1963, el científico J.J. Loferski calculó las máximas eficiencias teóricas para las celdas solares para diversos materiales. En la Figura 1. 9, se observa la curva obtenida por Loferski.

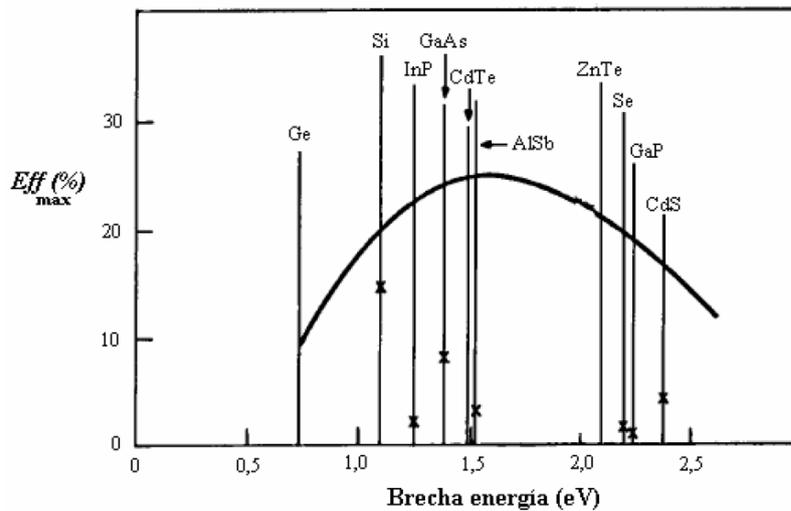


Figura 1. 9 Eficiencia Máxima de las Celdas Solares.

(J.J. Loferski, Recent Research on Photovoltaic Solar Energy, 1963, págs. 667 - 674)

Como se observa, los materiales que presentan las mayores eficiencias son los compuestos de GaAs, CdTe y AlSb. Sin embargo, éstos actualmente se encuentran en proceso de experimentación, por lo cual no están mayormente comercializados. En el caso del Silicio, (Si) por tratarse de un material altamente conocido en la industria de los semiconductores, se ha logrado minimizar la distancia entre el límite teórico y las eficiencias encontradas en la práctica. Actualmente, existe un límite teórico de 28%, pero debido a pérdidas por diversos factores la eficiencia se reduce a un rango entre 14% y 22%.

Algunos conceptos novedosos como el PESC (Pasivated Emitter Solar Cell) y el BC (Buried Contact) han permitido que se obtengan eficiencias record de laboratorio de 24,2%.

1.2.5 Paneles Solares.

Los paneles solares son sin duda uno de los mejores inventos modernos, además de ser, probablemente, el invento que más contribuye a la ecología. Los paneles solares son módulos que usan la energía que proviene de la radiación solar, y hay

de varios tipos, como los de uso doméstico que produce agua caliente o los paneles solares fotovoltaicos que producen electricidad, ver figura 1. 10.



Figura 1. 10 Paneles Solares.

paneles o módulos fotovoltaicos (llamados comúnmente paneles solares, aunque esta denominación abarca otros dispositivos) están formados por un conjunto de celdas (células fotovoltaicas) que producen electricidad a partir de la luz que incide sobre ellos (energía solar fotovoltaica). El parámetro estandarizado para clasificar su potencia se denomina potencia pico, y se corresponde con la potencia máxima que el módulo puede entregar bajo unas condiciones estandarizadas, que son:

- Radiación de 1000 W/m^2
- Temperatura de célula de $25 \text{ }^\circ\text{C}$ (no temperatura ambiente).

1.2.6 Curvas Características de los Paneles Fotovoltaicos (Curva I-V).

La representación típica de la característica de salida de un dispositivo fotovoltaico (celda, módulo, sistema) se denomina curva corriente tensión. La corriente de salida se mantiene prácticamente constante dentro del rango de tensión de operación y, por lo tanto el dispositivo se puede considerar como una

fuente de corriente constante en este rango, ver figura 1. 11. La corriente y tensión a la cual opera el dispositivo fotovoltaico están determinadas por la radiación solar incidente, por la temperatura ambiente, y por las características de la carga conectadas al mismo.

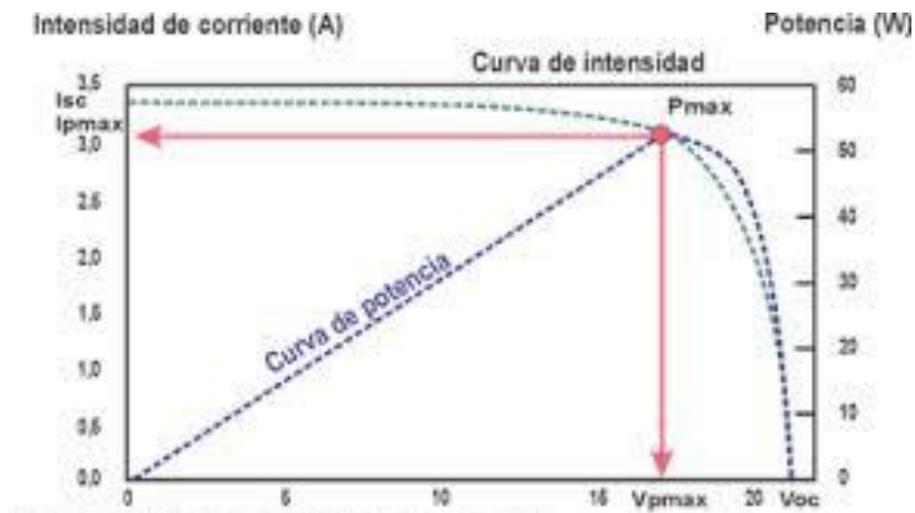


Figura 1. 11 Curva Característica de Paneles Solares (I-V).

(http://www.solartronic.com/Energia_Solar/Sistemas_Fotovoltaicos/Curso_Breve/4_Curvas_Caracteristicas/)

1.2.7 Factores que Afectan la Característica (I-V) del Módulo Fotovoltaico.

La curva característica de corriente, tensión del panel fotovoltaico se ve afectado por factores ambientales como la intensidad de iluminación, la temperatura y la distribución espectral de la luz solar.

- Efecto de la Intensidad de Iluminación (Irradiancia).

En general la irradiancia afecta principalmente a la corriente, de forma que se puede considerar que la corriente de cortocircuito del panel fotovoltaico es proporcional a la irradiancia. En la figura 1. 12 se muestra un ejemplo de la

influencia de la intensidad de iluminación sobre una curva I-V medida en laboratorio desde 120 W/m^2 hasta 1180 W/m^2 y temperatura constante.

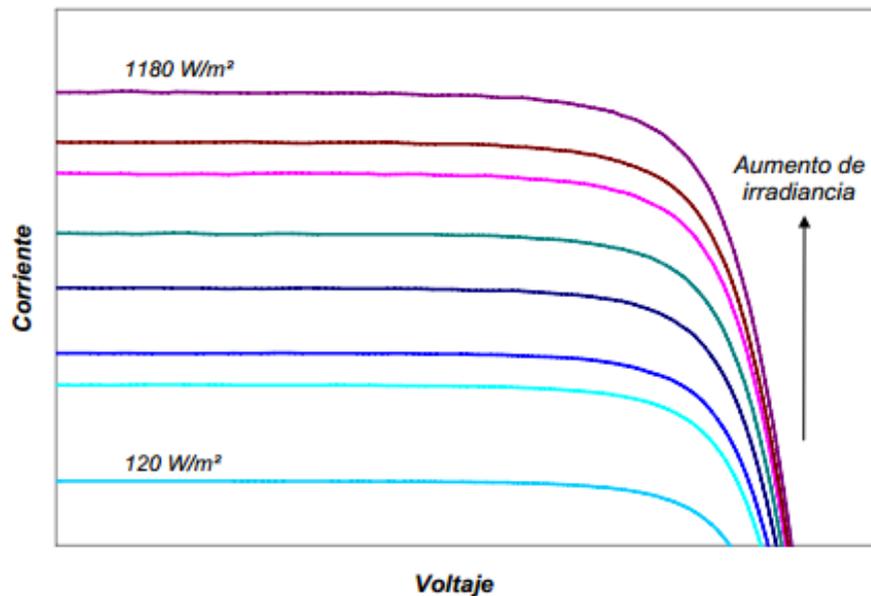


Figura 1. 12 Efecto de la Irradiación Sobre la Característica (I-V) de un Panel Fotovoltaico Manteniendo la Temperatura Constante.

- **Efecto de la Temperatura.**

La temperatura afecta principalmente a los valores de voltaje de la característica (I-V), y tiene su mayor influencia en el voltaje de circuito abierto, aunque también modifica los valores del punto de máxima potencia y el valor de corriente de corto circuito I_{sc} (este muy ligeramente). En la figura 1. 13 puede verse un ejemplo de la variación de la curva característica (I-V) de un panel fotovoltaico al variar la temperatura manteniendo la irradiancia constante.

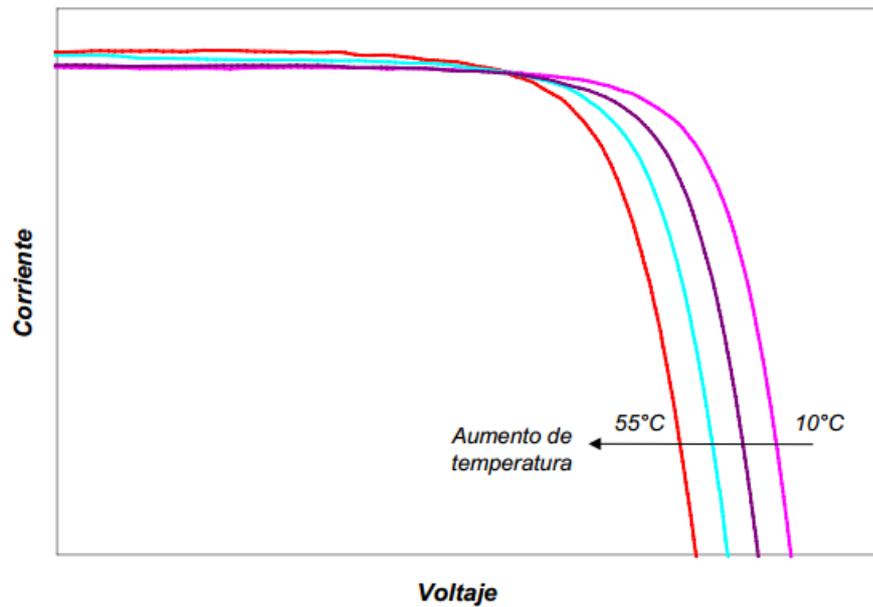


Figura 1. 13 Efecto de la Variación de Temperatura Sobre la Característica (I-V) de un Panel Fotovoltaico Manteniendo la Irradiancia Constante.

(http://api.eoi.es/api_v1_dev.php/fedora/asset/eoi:45315/componente45313.pdf)

1.3 Instrumentos de Medición de Radiación Solar.

Existen varios instrumentos para medir los parámetros solares:

1.3.1 Actinómetro o Pirheliómetro.

Actinómetro también llamado pirheliómetro, es un instrumento que se usa para medir la radiación directa desde una parte del cielo, incluyendo el sol y en superficie perpendicular a los rayos solares. En los instrumentos modernos, esta última abarca un semiángulo de 2.5° aproximadamente a partir del centro del Sol. Generalmente el sensor está dotado de un visor en el que un pequeño punto luminoso coincide con una marca situada en el centro del mismo cuando la superficie receptora se halla en posición exactamente perpendicular al haz solar directo. Por lo que se precisa que todos los pirheliómetros vayan montados sobre

un mecanismo que le permita un seguimiento muy preciso del Sol. Como se puede apreciar en la figura 1. 14.

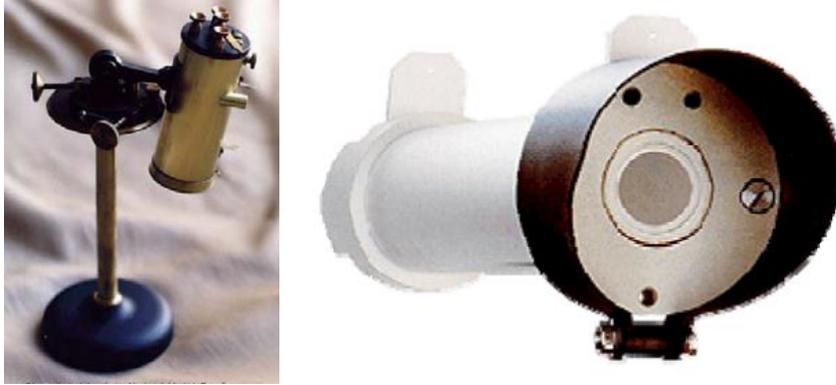


Figura 1. 14 Pirheliómetro.

1.3.2 Piranómetro o Piranógrafo.

Solarímetro también llamado Piranómetro, este instrumento se usa para medir radiación hemisférica total (directa y difusa) y generalmente en superficie horizontal. Los datos son graficados gracias al Piranógrafo. Este se utiliza a veces para medir la radiación incidente sobre superficies inclinadas y se dispone en posición invertida para medir la radiación global reflejada (albedo). Para medir solamente la componente difusa de la radiación solar, la componente directa se cubre por medio de un sistema de pantalla o sombreado. Como se puede apreciar en la figura 1. 15.

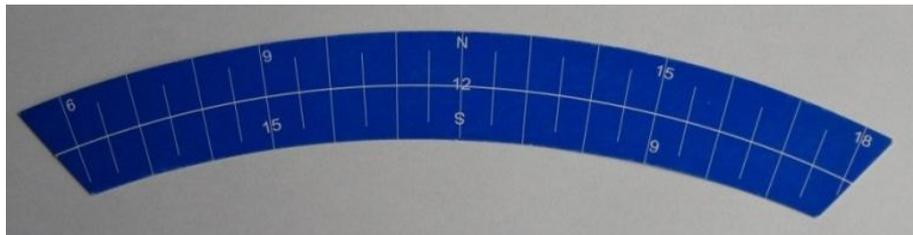


Figura 1. 15 Piranómetro.

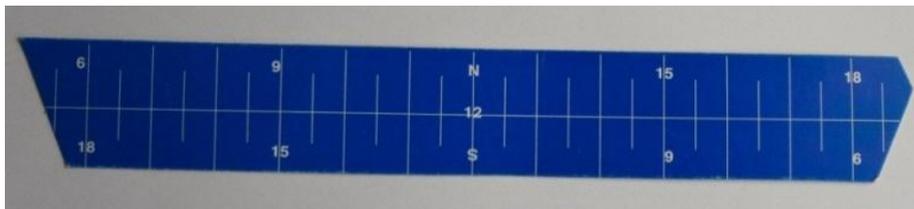
1.3.3 Heliógrafo.

Este instrumento deja registrado en un gráfico las horas de sol, cuando la radiación alcanza nivel crítico. El heliógrafo está constituido por una esfera de vidrio de 10 cm de diámetro, montada concéntricamente en el interior de un casquete esférico, cuyo diámetro es tal que los rayos solares forman un foco muy intenso sobre una banda de cartulina encajada en unas ranuras del casquete. Este lleva tres partes de ranuras paralelas en las cuales se pueden alojar tres clases de bandas diferentes según sea la estación del año. Como se puede apreciar en la figuras 1. 16.

Latitud Sur: 15 de Abril al 31 de Agosto



Latitud Norte y Sur: 1 de Marzo al 14 de Abril / 1 de Septiembre al 13 de Octubre



Latitud Sur: 14 de Octubre al 28 de Febrero

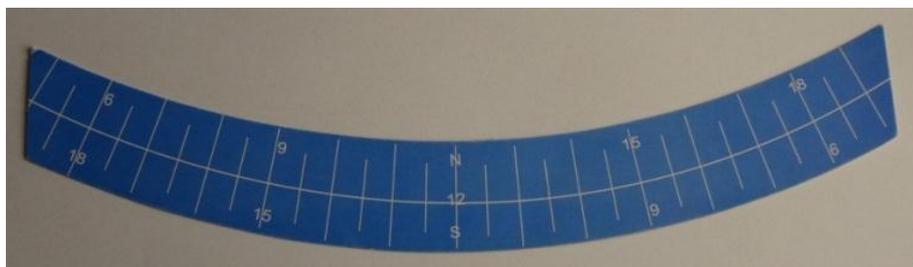


Figura 1. 16 Bandas de cartulina para Heliógrafo.

El heliógrafo debe registrar permanentemente los períodos de insolación. Por lo tanto su emplazamiento ideal será donde pueda ser instalado sólidamente en un sitio despejado de todo obstáculo susceptible de interceptar los rayos solares en cualquier momento del día o del año. Como se puede apreciar en la figura 1. 17.



Figura 1. 17 Heliógrafo.

(<http://ocw.unia.es/ciencias-tecnologicas/caracterizacion-y-evaluacion-de-la-radiacion-solar/tema-5>).

1.4 Controlador de Carga Solar.

Es un dispositivo encargado de proteger a la batería frente a sobrecargas y sobredescargas profundas. El regulador de tensión controla constantemente el estado de carga de las baterías y regula la intensidad de carga de las mismas para

alargar su vida útil. También genera alarmas en función del estado de dicha carga. Los reguladores actuales introducen microcontroladores para la correcta gestión de un sistema fotovoltaico.

Su programación elaborada permite un control capaz de adaptarse a las distintas situaciones de forma automática, permitiendo la modificación manual de sus parámetros de funcionamiento para instalaciones especiales. Incluso los hay que memorizan datos que permiten conocer cuál ha sido la evolución de la instalación durante un tiempo determinado. Para ello, consideran los valores de tensión, temperatura, intensidad de carga y descarga, y capacidad del acumulador. En la Figura 1. 18, se puede observar un Controlador de Carga Solar típico para sistemas fotovoltaicos.



Figura 1. 18 Controlador de Carga Solar.

(<http://energiasolarfotovoltaica.blogspot.com/2006/01/el-regulador-de-carga.html>)

Existen dos tipos de reguladores de carga en el mercado, los MPPT (Maximum Power Point Tracker) y el PWM (Pulse Width Modulation)

Una de las consideraciones a tener en cuenta es el uso de paneles fotovoltaicos de mayor voltaje en combinación con reguladores de carga MPPT o usar los sistemas

convencionales PWM.

Ventajas de los reguladores PWM.

- Están contruidos con una tecnología probada desde hace muchos años.
- Son controladores baratos.
- Están disponibles en tamaños de hasta 60 A.
- Tienen una vida útil larga, la mayoría tienen un sistema de refrigeración de calor pasiva.
- Estos controladores de carga están disponibles en muchos tamaños y para una gran variedad de aplicaciones.

Desventajas de los reguladores PWM.

- El voltaje nominal debe ser el mismo que el del banco de baterías.
- No hay controladores únicos para tamaños por encima de 60 A DC.
- Los más pequeños vienen sin accesorios.
- Los controladores de carga tienen una capacidad limitada para el crecimiento del sistema.

Ventajas de los reguladores MPPT.

- Los controladores de carga ofrecen un potencial de incremento en la eficiencia de carga de hasta un 30 % (típicamente podemos considerar al menos el 15 %).
- Estos controladores ofrecen la posibilidad de colocar paneles en serie a voltajes superiores al banco de baterías.
- Están disponibles hasta 80 A.
- Las garantías de los controladores de carga MPPT son típicamente mayores que en las unidades PWM.
- Ofrecen mayor sensibilidad para el crecimiento del sistema.

Desventajas de los reguladores MPPT.

- Los controladores de carga MPPT son más caros, costando a veces el doble que los PWM.
- Las unidades MPPT son generalmente más grandes en tamaño físico.
- El dimensionado apropiado puede ser desafiante sin las guías del fabricante.

1.4.1 Controlador de Carga Solar Tipo MPPT (Maximum Power Point Tracker).

Un Controlador de Carga con MPPT es un dispositivo electrónico que regula la carga de baterías controlando el punto en el que los paneles solares empleados para la carga producen la mayor cantidad de energía eléctrica. MPPT significa Seguidor de Punto de Máxima Potencia por sus siglas en inglés (Maximum Power Point Tracker). La potencia de un Panel solar se mide en Watts. La potencia es el producto del voltaje (Volts) por la corriente (Amperes): $\text{Volts} \times \text{Amperes} = \text{Watts}$. Los controladores de carga con MPPT siempre buscan el balance entre voltaje y corriente en el que los paneles solares operan a su máxima potencia. Si se utiliza una curva que grafique el voltaje y la corriente de un panel solar, el punto de máxima potencia se encontrará en el centro o esquina de la curva (V-I). Un controlador de carga con MPPT se va a asegurar que los paneles solares operen lo más cerca posible de este punto, incrementando por consiguiente la producción del arreglo solar. Ver figura 1. 19.

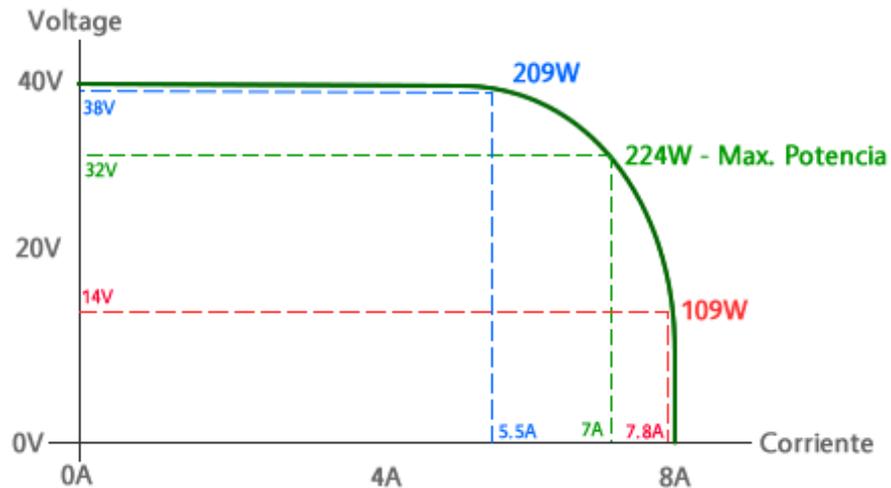


Figura 1. 19 Producción del Panel Solar con un Controlador MPPT.

(<http://www.webosolar.com/foro/controlador-carga-mppt-punto-maxima-potencia/>)

1.4.2 Controlador de Carga Solar Tipo PWM (Pulse Width Modulation).

Los reguladores de modulación por ancho de pulsos (PWM) son reguladores sencillos que actúan como interruptores entre las placas fotovoltaicas y la batería. Estos reguladores exigen a los módulos fotovoltaicos a trabajar a la tensión de la batería, sin ningún tipo de instalación extra. Por ejemplo, si la batería es de 12 V, los paneles cargan la batería con una tensión de 12 V. Cuando se alcanza la etapa de absorción en la carga de la batería, el regulador modifica la intensidad de los pulsos, corta varias veces por segundo el contacto entre los módulos y la batería, evitando que la batería se sobrecargue.

Entre las ventajas de estos reguladores podemos encontrar su sencillez, su reducido peso y su bajo precio. Los reguladores PWM están disponibles en tamaños hasta de 60 A y tienen una vida útil bastante larga, algunos llevan incorporados un sistema de refrigeración de calor pasiva. Están disponibles en distintos tamaños y para gran variedad de aplicaciones.

En cuanto a los inconvenientes, encontramos que el voltaje nominal debe ser el mismo que el del banco de baterías, y no encontramos reguladores únicos por encima de los 60 A para corriente continua. Estos controladores tienen una capacidad limitada para el crecimiento del sistema, nada que no puedan solucionar los reguladores MPPT.

(<http://autosolar.es/blog/tecnica/item/337-que-es-un-regulador-pwm>)

1.5 Bancos de Baterías.

Este es un módulo llamado también Banco de Baterías, permite almacenar energía eléctrica, la que posteriormente será entregada al sistema de tracción, control y de servicios auxiliares. Existen varias tecnologías con las que se puede acumular energía para accionar un vehículo eléctrico. La tecnología más usada para aplicaciones móviles corresponde a los bancos de baterías.

(J. L. Larminie, 2003)

Esta reacción química entre los electrodos y el electrolito genera electricidad en corriente continua. En el caso de acumuladores reversibles es posible revertir esta reacción química al invertir el sentido de la corriente de la batería, por lo que es posible volver a cargar las baterías. Ver figura 1. 20.

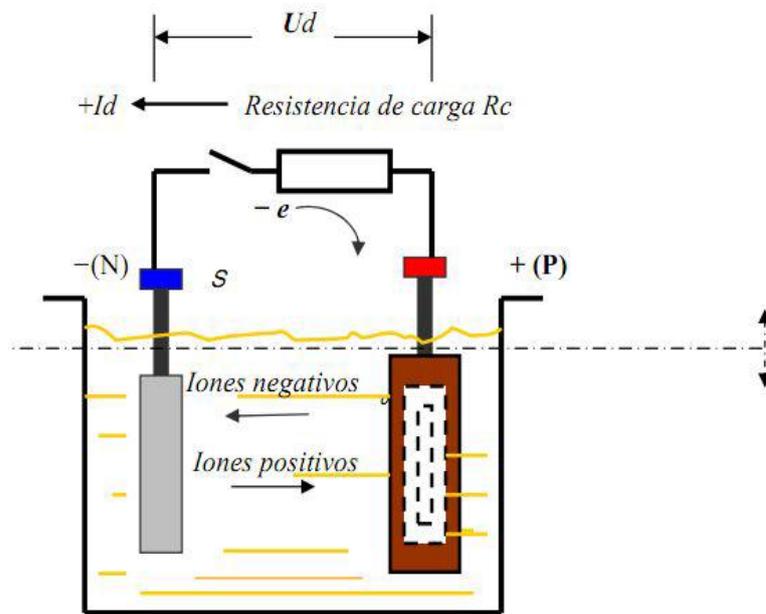


Figura 1. 20 Esquema Simplificado de un Acumulador.

(E. Bianchi Elementos de Electroquímica, 2010)

1.5.1 Baterías de Plomo Ácido.

Son las baterías más usadas en vehículos eléctricos, montacargas, carros de golf, etc. También son muy usadas en los automóviles de combustión interna. Sin embargo para aplicaciones de tracción se necesitan baterías que soporten descargas profundas y para aumentar la robustez pueden usar un gel en vez de un electrolito líquido. Es importante mencionar que estas baterías corresponden a las más baratas por kW/h, están establecidas comercialmente y tienen un buen respaldo. Sin embargo tienen una baja energía específica, lo que no las hace recomendables para vehículos de alta autonomía.

Dependiendo de la calidad de la batería, típicamente después de 30 - 60 descargas completas, la capacidad de la batería se reduce a 60% de su capacidad inicial. Se considera que las descargas mayores de 50% dañan irreversiblemente estas

baterías. Por otro lado, si se retira en cada ciclo solamente 20 % de la carga total, estas baterías pueden soportar 500 - 1000 ciclos de carga/descarga, y 1000 - 2000 ciclos de 10 % de descarga cada uno. Importante es que periódicamente la batería sea cargada completamente, sobre todo después de descargas relativamente mayores, para “igualar” las 6 celdas de la batería y evitar sulfataciones. Para la igualación se usa voltajes de carga hasta 15 V. Ver figura 1. 21.



Figura 1. 21 Batería de Plomo Acido.

1.5.2 Baterías de Tracción.

Tienen mayor costo y son diseñadas para operar con ciclos de descarga profunda tal como se requiere en un auto eléctrico con ciclos típicos de carga/descarga diarios. Estas baterías, que poseen placas con una aleación de alto contenido de antimonio (4-10%), tienen una autodescarga relativamente grande y una eficiencia de carga baja, ya que requieren periódicamente sobrecargas de 20% con gasificación para evitar sulfatación; requieren asimismo regularmente mantenimiento, pero resisten muchos ciclos de descarga profunda: 1500 o más ciclos con 80% de descarga. Ver figura 1. 22.



Figura 1. 22 Batería de Tracción.

1.5.3 Baterías Estacionarias.

Estas baterías con menos de 2% de antimonio y algo de selenio en la aleación tienen una construcción con planchas blindadas ("tubulares") y cuestan 3-6 veces más que las baterías de arranque comunes. Tienen una autodescarga menor de 3%, una eficiencia de 95-98% y una vida hasta 15-20 años, permitiendo 1300-1500 ciclos de 80% de carga/descarga, o 4500 ciclos de 30%. Son usadas en instalaciones fotovoltaicas grandes. Pueden tener el electrolito gelificado, ser selladas y aptas para ser colocadas en cualquier posición, sea vertical u horizontal. Ver figura 1. 23.



Figura 1. 23 Baterías Estacionarias.

1.5.4 Baterías Solares.

Con este nombre se ofrece hoy en el mercado un conjunto de baterías, realmente o supuestamente adaptadas a los requerimientos de un sistema fotovoltaico FV. Generalmente se trata de baterías que por su geometría y materiales usados buscan hacer un compromiso entre costo, vida útil (número de ciclos de carga/descarga) y libre de mantenimiento. Pueden ser selladas o abiertas. Las baterías solares más usadas son las de tipo arranque mejorado que tienen placas más gruesas, más electrolito etc. No son selladas y requieren un mantenimiento bajo de más o menos 1 - 2 veces por año. Permiten un número de 1000 - 2000 ciclos de carga/descarga de 15 - 20 % cada uno (manteniendo permanentemente el 80-85% de la carga total) y son más resistentes a las descargas de 50 % que las baterías normales de arranque.

En relación a las baterías solares selladas hay que notar que, por un lado, estas baterías son menos resistentes a las descargas profundas que las baterías similares abiertas (debido al calcio en las placas) y, por otro lado, no son recomendables para aplicaciones en sistemas fotovoltaicos en climas calientes, porque siempre hay algo de pérdida de electrolito, a pesar del “sellado” y esas pérdidas son mayores a temperaturas más altas, reduciendo así la vida de la batería, por no permitir una restitución de electrolito perdido. Ver figura 1. 24.



Figura 1. 24 Baterías Solares.

(<http://fc.uni.edu.pe/mhorn/baterias.html>)

1.5.5 Conexiones de Bancos de Baterías.

Es un grupo de baterías interconectadas para almacenar la energía producida por un sistema solar, eólico, etc. En la teoría y en la práctica existen tres tipos de conexiones en baterías de plomo ácido, métodos probados, la conexión en serie, la conexión en paralelo y la conexión mixta, cada una de las conexiones de las baterías realizarán diferente función.

1.5.5.1 Conexión Serie.

Esta asociación en serie es la más conocida. En este caso, el borne positivo o negativo de una celda o batería, se conecta al borne opuesto de otra de idénticas características. De esta manera, la asociación resultante tendrá la sumatoria de los voltajes, mas no así el amperaje manteniendo la misma capacidad de cada batería en forma individual. En la figura 1. 25 se muestra la conexión de un banco tipo serie.

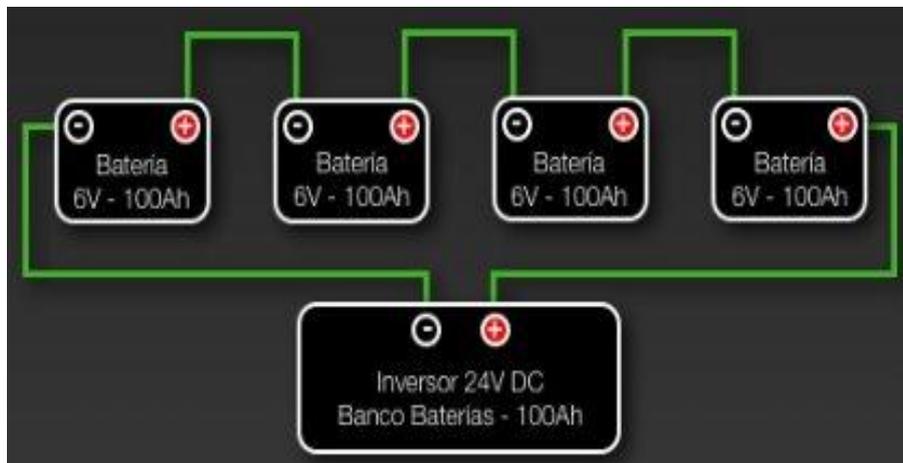


Figura 1. 25 Conexiones de un Banco de Baterías Tipo Serie.

1.5.5.2 Conexión Paralelo.

Asociar en paralelo significa vincular eléctricamente bornes de la misma polaridad. La conexión en paralelo incrementa la capacidad total, es decir el amperaje se suma, más no el voltaje. La asociación en paralelo se utiliza cuando no es posible obtener una batería de la capacidad deseada. Ó, a veces, dicha capacidad existe en un determinado modelo o tipo constructivo y resulta más económico utilizar una asociación en paralelo de otros modelos más baratos. En la figura 1. 26 se muestra la conexión de un banco tipo paralelo.

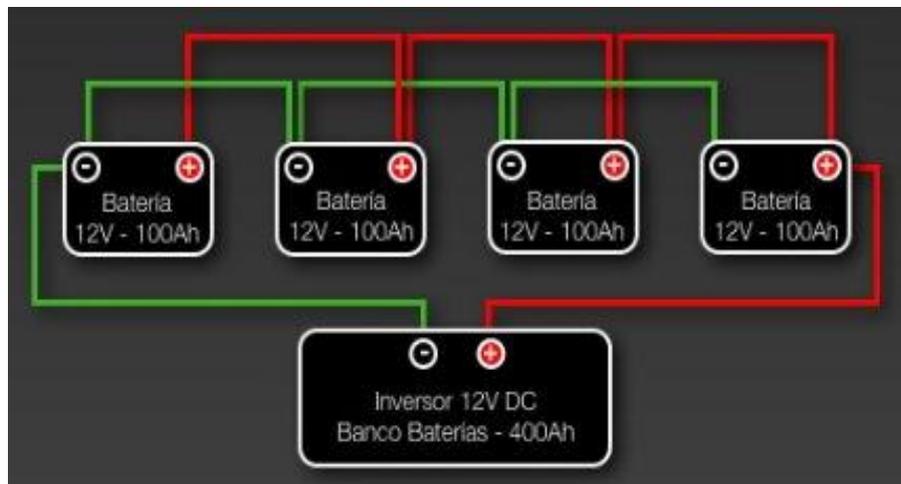


Figura 1. 26 Conexiones de un Banco de Baterías Tipo Paralelo.

1.5.5.3 Conexión Serie-Paralelo o Mixta.

En este tipo de banco se asocian conexiones en serie y paralelo dando como resultado la conexión mixta, con la que se hace un incremento total entre bancos, es decir tanto voltaje como amperaje. En la figura 1. 27 se muestra la conexión de un banco tipo serie-paralelo o mixto.

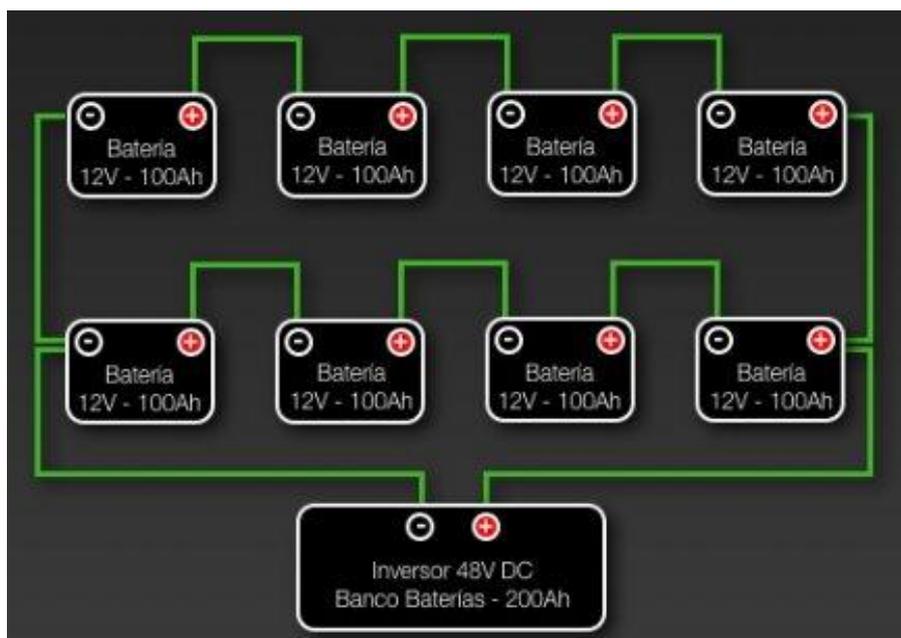


Figura 1. 27 Conexiones de un Banco de Baterías Tipo Serie-Paralelo o Mixto.

(<http://www.solarweb.net/forosolar/fotovoltaica-sistemas-aislados-la-red/27128-tipos-conexion-baterias-bancos.html>, 2010)

1.6 Dimensionamiento de Sistemas Fotovoltaicos Aislados.

Los pasos que se debe considerar para el dimensionamiento de un sistema fotovoltaico autónomo o aislado son:

- Estimación del consumo. Aquí siempre es fundamental los datos aportados por el consumidor, y deben ser siempre lo más realistas posibles para evitar desviaciones en el dimensionamiento. Si la instalación se realiza para un sistema fotovoltaico de uso diario todo el año, se escogerá el valor medio de todo el año. Si la instalación se realiza para el uso ocasional, por ejemplo en verano, hay que escoger los valores de los meses de verano.
- Datos del lugar donde se realiza la instalación fotovoltaica para saber la irradiación que se dispone.

- Dimensionamiento del generador fotovoltaico (número de paneles necesarios).
- Dimensionamiento del sistema de acumulación (número de baterías). Para el dimensionamiento del sistema de acumulación es muy importante tener en cuenta los días de autonomía que se va a otorgar a la instalación, para proyectos domésticos o vehículos se suele tomar entre 3 y 5 días de autonomía, 6 o 7 días en caso de tratarse de zonas con baja irradiación donde puede producirse periodos de varios días en condiciones de poca radiación. Para sistemas remotos suelen tomarse 7 y 10 días de autonomía.
- Dimensionamiento del regulador.
- Dimensionamiento del inversor.

Una vez definidos los pasos, se expone el método de cálculo.

1.6.1 Estimación de Consumos.

Para la estimación de consumos se debe realizar una tabla para obtener el consumo medio diario de la instalación al que se le ha aplicado un 20% como margen de seguridad recomendado. Se debe tener en cuenta que en la instalación habrá pérdidas por rendimiento de la batería y del inversor y esto influye en la energía necesaria final. Generalmente, para el buen dimensionamiento, se toma un rendimiento de la batería de un 95%, del inversor un 90% y de los conductores un 100%. Así para el cálculo de los consumos medios diarios (L_{md}) se considera la siguiente ecuación:

$$L_{md} = \frac{L_{md} DC + \frac{L_{md} AC}{\eta_{inv}}}{\eta_{bat} * \eta_{con}}$$

Ecuación 4. Consumo Medio de Energía Diario.

Dónde:

L_{md} = Consumo medio de energía diario.

L_{mdDC} = Consumo medio de energía diario de las cargas en continua.

L_{mdAC} = Consumo medio de energía diario de las cargas en alterna.

1.6.2 Tablas de Radiación Total para Ecuador – Cotopaxi.

La tabla está identificada por el nombre de la localidad, su latitud, su longitud o meridiano y los meses respectivos. Los valores horarios de radiación están dados en $kW h/m^2$ y comprendidos entre los meses de enero hasta diciembre, como se puede observar en la tabla 1. 2. Se debe hacer notar que los valores aquí entregados corresponden a valores típicos representativos, que fluctuarán entre los valores de un día despejado y de uno nublado. Además, junto con la tabla se presenta un gráfico correspondiente a los respectivos valores de la tabla de datos. Este gráfico es de gran ayuda para visualizar cómo se comporta la radiación a lo largo del año.

UBICACIÓN	TABLA DE IRRADIACIÓN SOLAR MENSUAL Y PROMEDIA DURANTE 10 AÑOS (KWh/m ²)														
	LAT.	LONG.	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	PROMEDIO
COTOPAXI	1 S	79 W	3,73	3,98	4,05	3,88	3,74	3,47	3,71	3,97	3,98	3,77	3,88	3,79	3,83
LATACUNGA	0,92 S	78,62 W	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
QUITO	0,22 S	78,48 W	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

Tabla 1. 2 Valores de Irradiación Solar de Cotopaxi y Latacunga.

(Decreto Ejecutivo N° 3970, 1996, págs. 32-35)

Se presenta de manera comparativa las Horas de Sol Estándar diarias promedio mensual en la figura 1. 28, para la provincia de Cotopaxi y específicamente en el cantón Latacunga.

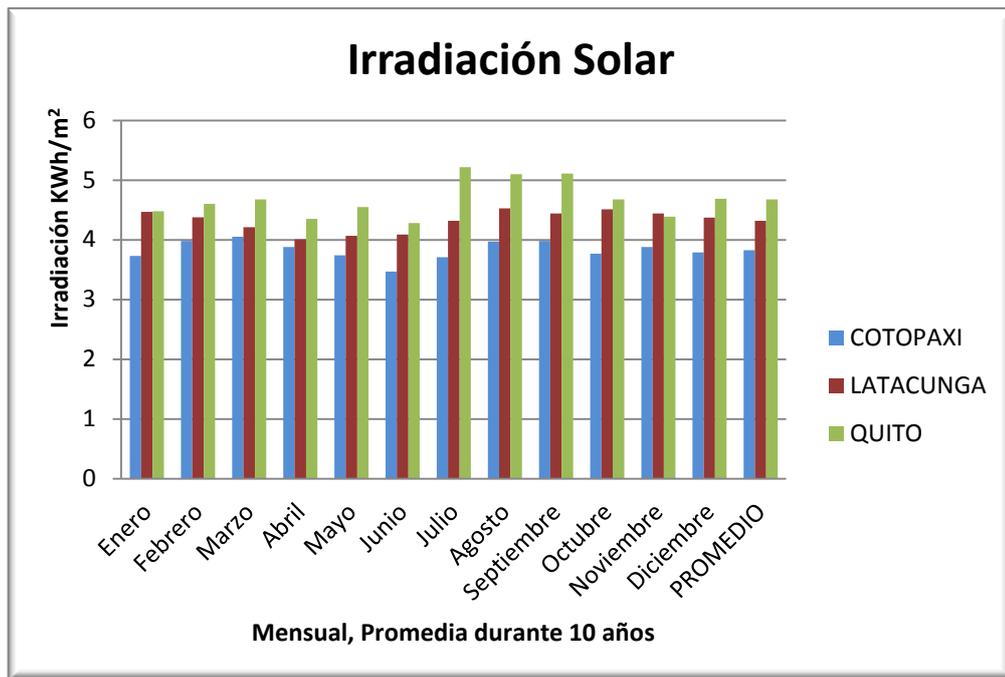


Figura 1. 28 Horas de Sol Estándar para Cotopaxi, Latacunga y Quito.

1.6.3 Dimensionamiento del Generador Fotovoltaico.

Para dimensionar los módulos fotovoltaicos necesarios se debe aplicar la siguiente ecuación:

$$N_T = \frac{L_{mdcrit}}{P_{MPP} * HPS_{crit} * PR}$$

Ecuación 5. Consumo Medio Diario Mensual para el Mes Crítico.

Dónde:

L_{mdcrit} = Consumo medio diario mensual para el mes crítico.

P_{MPP} = Potencia pico del módulo escogido en wattios.

HPS_{crit} = Horas de sol pico estándar críticas.

PR = Factor global de funcionamiento que varía entre 0.65 y 0.90. Usaremos 0.90 por defecto.

Respecto a la conexión del número total de los módulos calculados, también se requiere saber el número de paneles solares en serie o paralelo, para esto se debe tomar en cuenta la potencia y el voltaje máximo generado por los paneles solares. Para determinar los paneles solares que se conectan en serie y paralelo se aplican las ecuaciones siguientes.

$$N_{SERIE} = \frac{V_{BAT}}{V_{MOD MPP}}$$

Ecuación 6. Número de Paneles en Serie.

$$N_{PARALELO} = \frac{N_T}{N_{SERIE}}$$

Ecuación 7. Número de Paneles en Paralelo.

Si no se va a instalar un regulador con seguimiento de punto de máxima potencia MPPT se debe utilizar otro criterio, el Criterio de Amperios-Hora, Porque la batería es la que marca la tensión del sistema (12, 24, 48 Volt.) ya que rara vez se alcanza el punto de máxima potencia de los módulos empleados. Para esto se requiere expresar el consumo de energía medio en Ah/día considerando la siguiente ecuación.

$$Q_{Ah} = \frac{L_{md}}{V_{Bat}}$$

Ecuación 8. Capacidad de la Batería.

Dónde:

Q_{Ah} = Capacidad de la batería.

L_{md} = Consumo medio de energía diario.

V_{Bat} = Voltaje de Batería.

Así pues, la corriente que debe generar el campo de captación fotovoltaico (el total de los paneles instalados) en las condiciones de radiación solar del mes crítico sería:

$$I_{GFV.MPP} = \frac{Q_{Ah}}{HPS_{crit}}$$

Ecuación 9. Corriente generada por el campo de captación fotovoltaico.

$I_{GFV.MPP}$ = Corriente generada por el campo de captación fotovoltaico (el total de los paneles instalados).

Dónde:

Q_{Ah} = Capacidad del banco de baterías.

HPS_{crit} = Horas de sol pico estándar críticas.

Si se divide ($I_{GFV.MPP}$) la corriente generada por el campo de captación fotovoltaico (el total de los paneles instalados) entre la corriente ($I_{MOD.MPP}$) unitaria de cada módulo fotovoltaico se obtiene el total de módulos necesarios conectados en paralelo:

$$N_{PARALELO} = \frac{I_{GFV.MPP}}{I_{MOD.MPP}}$$

Ecuación 10. Total de Módulos Conectados en Paralelo.

Finalmente se encuentra los ramales necesarios en paralelo para cubrir las necesidades del sistema, si no se usa un controlador de carga solar tipo MPPT. Lo recomendable es usarlo.

1.6.4 Dimensionamiento del Sistema de Acumulación.

Para el dimensionado de la batería se debe tomar en consideración la máxima profundidad de descarga (estacional y diaria) y el número de días de autonomía.

Como norma general, se tiene en cuenta estos parámetros:

Profundidad de Descarga Máxima Estacional (PD_{max.e}) = 70% = 0,7

Profundidad de Descarga Máxima Diaria (PD_{max.d}) = 15% = 0,15

Número de días de Autonomía (N) = 6

Para calcular la capacidad nominal de la batería en función de la descarga máxima diaria (C_{nd}) se aplica la siguiente ecuación:

$$C_{nd}(Wh) = \frac{L_{md}}{P_{D\ max.d} * F_{CT}}$$

Ecuación 11. Capacidad Nominal de Descarga Diaria en Wh.

$$C_{nd}(Ah) = \frac{C_{nd}(Wh)}{V_{Bat}}$$

Ecuación 12. Capacidad Nominal de Descarga Diaria en Ah.

Para el cálculo de la Capacidad nominal de la batería en función de la descarga máxima estacional (C_{ne}) se aplican las siguientes ecuaciones:

$$C_{ne}(Wh) = \frac{L_{md} * N}{P_{D\ max.e} * F_{CT}}$$

Ecuación 13. Capacidad Nominal de Descarga Estacional en Wh.

$$C_{ne}(Ah) = \frac{C_{ne}(Wh)}{V_{Bat}}$$

Ecuación 14. Capacidad Nominal de Descarga Estacionaria en Ah.

Una vez que se dimensiona la capacidad del banco de baterías se escoge un banco con un valor superior al calculado.

1.6.5 Dimensionamiento del Controlador de Carga Solar.

Para dimensionar el controlador de carga solar se debe calcular cual es la máxima corriente que debe soportar el regulador, a su entrada pero también a su salida. Para calcular la corriente de entrada al regulador se hace el producto corriente de cortocircuito de un módulo, y se multiplica por el número de las ramas conectadas en paralelo. Para determinar esto se aplica la siguiente ecuación.

$$I_{entrada} = 1,25 * I_{MOD. SC} * N_p$$

Ecuación 15. Corriente de Entrada del Controlador de Carga Solar.

$I_{MOD. SC}$ = La corriente unitaria del módulo fotovoltaico en condiciones de cortocircuito. Se usa la corriente de cortocircuito para el cálculo de la corriente de entrada al regulador por que será la máxima corriente que podría ser generada por el módulo fotovoltaico y ha de ser esa la que se tenga en cuenta para evitar pérdidas de rendimiento.

Dónde:

N_p = Número de ramas en paralelo.

1,25 = Es un factor de seguridad para evitar daños ocasionales al regulador.

Para el cálculo de la corriente de salida hay que valorar las potencias de las cargas DC y las cargas AC. Para determinar esto se aplica la siguiente ecuación.

$$I_{salida} = \frac{1,25 * \left(P_{DC} + \frac{P_{AC}}{\eta_{inv}} \right)}{V_{Bat}}$$

Ecuación 16. Corriente de Salida del Controlador de Carga Solar.

Dónde:

P_{DC} = Potencia de las cargas en continua.

P_{AC} = Potencia de las cargas en alterna.

η_{inv} = Rendimiento del inversor, en torno a 90-95%.

(<http://www.sfe-solar.com/calculo-sistemas-fotovoltaicos-aislados-autonomos/>)

CAPÍTULO II

2. ANALISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.

2.1.1 *Análisis del Mes Crítico de Irradiación Solar.*

La tabla está identificada por el nombre de la localidad, su latitud, su longitud o meridiano y los meses respectivos. Los valores horarios de radiación están dados en kW h/m^2 y comprendidos entre los meses de enero hasta diciembre, Como se aprecia en la tabla 2. 1. Se debe hacer notar que los valores aquí entregados corresponden a valores típicos representativos, que fluctuarán entre los valores de un día despejado y de uno nublado. Teniendo en cuenta el mes crítico es en Abril con un valor de $4,01 \text{ kWh/m}^2$.

UBICACIÓN	TABLA DE IRRADIACIÓN SOLAR MENSUAL Y PROMEDIA DURANTE 10 AÑOS (KWh/m ²)														
	LAT.	LONG.	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	PROMEDIO
COTOPAXI	1 S	79 W	3,73	3,98	4,05	3,88	3,74	3,47	3,71	3,97	3,98	3,77	3,88	3,79	3,83
LATACUNGA	0,92 S	78,62 W	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
QUITO	0,22 S	78,48 W	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

Tabla 2. 1 Valores de Irradiación Solar de Cotopaxi y Latacunga.

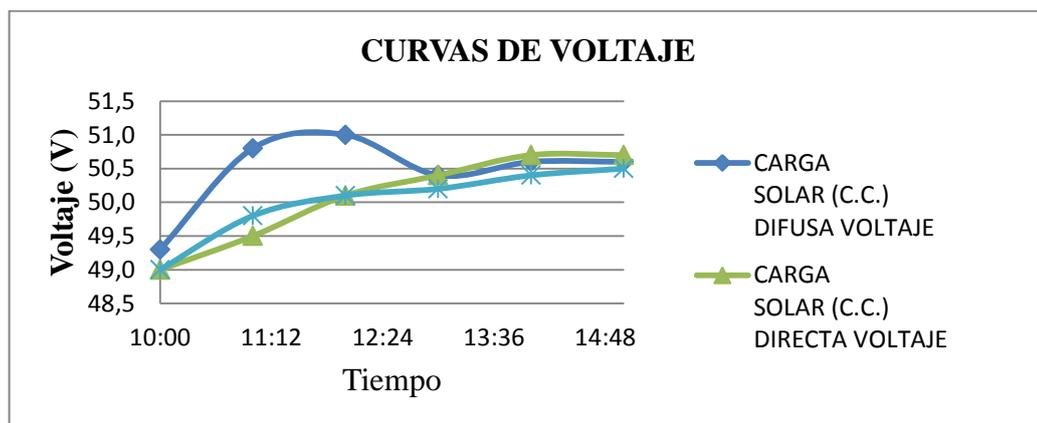
2.1.2 *Análisis de Carga del Sistema Fotovoltaico y por Corriente Alterna.*

Una de las primeras pruebas eléctricas fue medir los voltajes y corrientes para realizar las pruebas de carga y descarga de las baterías, se realizan mediciones de voltaje y corriente cada media hora del banco de baterías de plomo acido de 48 V y 65 Ah, totalmente descargada, mientras esta se carga independientemente de las dos formas planteadas, con la energía de la red eléctrica de corriente alterna

(C.A.), y con el sistema solar fotovoltaico de corriente continua (C.C.). Dichas pruebas realizadas se analizan con los datos de la tabla 2.2 y establecer los voltajes, corrientes y potencias de carga en las gráficas de la figuras 2. 1.

COMPORTAMIENTO DE LA CARGA Y ALMACENAMIENTO DEL BANCO DE BATERÍAS							
HORAS DE CARGA		10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00
CARGA SOLAR (C.C.) DIFUSA	VOLTAJE	49,3	50,8	51,0	50,4	50,6	50,6
	CORRIENTE	4,2	4,6	4,5	2,3	2,4	2,3
	POTENCIA	207,1	233,7	229,5	115,9	121,4	116,4
CARGA SOLAR (C.C.) DIRECTA	VOLTAJE	49	49,5	50,1	50,4	50,7	50,7
	CORRIENTE	4,5	4,6	4,5	4,4	4,1	2,6
	POTENCIA	220,5	227,7	225,45	221,76	207,87	131,82
CARGA ALTERNA (C.A.)	VOLTAJE	49	49,8	50,1	50,2	50,4	50,5
	CORRIENTE	2,9	2,7	2,7	2,7	2,7	2,6
	POTENCIA	142,1	134,46	135,27	135,54	136,08	131,3

Tabla 2. 2 Datos de Voltajes, Corrientes y Potencias de los Sistemas de Carga Solar de Corriente Continua (C.C.) y Corriente Alterna (C.A.).
(Fuente: Autores)



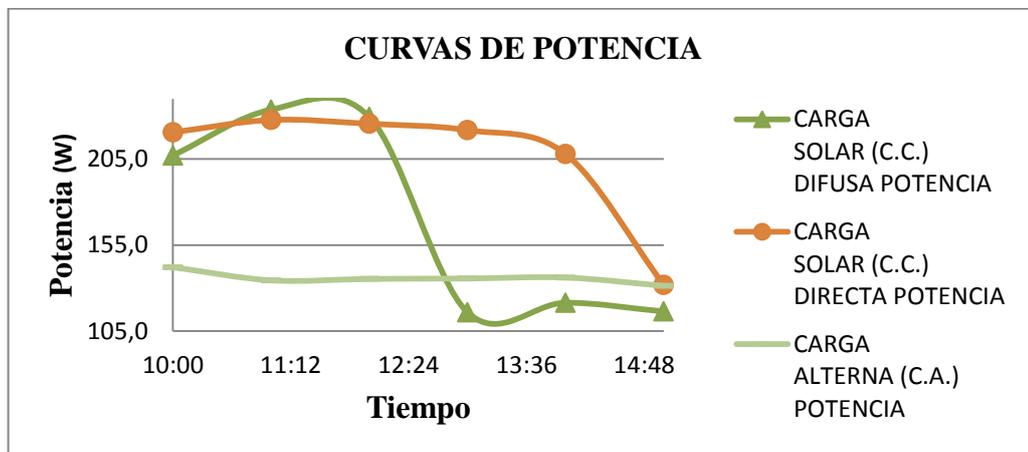
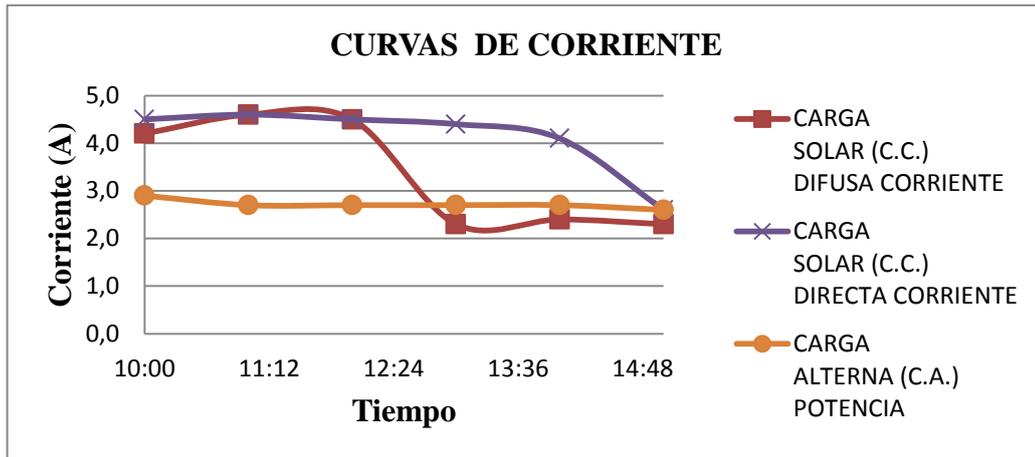


Figura 2. 1 Comportamiento del Voltaje, Corriente y Potencia de los Sistemas de Carga por Corriente Continua (C.C.) y Corriente Alterna (C.A.).

(Fuente: Autores)

2.1.3 *Análisis y Dimensionamiento del Sistema Fotovoltaico para el Vehículo Eléctrico.*

Para el diseño eléctrico del sistema fotovoltaico se utiliza el método analítico sintético, el cual permite hacer análisis múltiples para la estimación del consumo, datos de irradiación, dimensionamiento del generador fotovoltaico, sistema de acumulación y controlador de carga solar. Aquí siempre es fundamental aportar con datos lo más realista posible para evitar desviaciones en el dimensionamiento.

2.1.3.1 Estimación del Consumo.

Para la estimación del consumo se considera la carga del vehículo eléctrico en este caso el motor de dos Hp de corriente continua, como se aprecia en la tabla 2.3.

Unidades	Carga	Potencia (W)	Horas de Funcionamiento (h)	Total de Energía (Wh)	Total de Energía (Wh) x Margen de Seguridad (20%)
1	Motor 2 Hp DC	1492	4	5968	7161,6

Tabla 2. 3 Estimación de Consumo en el Vehículo Eléctrico.

Así para el cálculo de los consumos medios diarios (L_{md}) se hace referencia a la ecuación número cuatro:

$$L_{md} = \frac{7161,6 \text{ Wh}}{0,95 * 1}$$

$$L_{md} = 7538,53 \frac{\text{Wh}}{\text{día}}$$

2.1.3.2 Dimensionamiento del Generador Fotovoltaico.

Para dimensionar los módulos fotovoltaicos necesarios, se hace referencia a la ecuación número cinco.

$$N_T = \frac{7538,53 \frac{\text{Wh}}{\text{día}}}{85W * 4,01h * 0,9}$$

$$N_T = 24,57 \approx 24 \text{ Paneles.}$$

Respecto a la conexión del número total de los módulos calculados, también se requiere saber el número de paneles solares en serie o paralelo, para esto se debe tomar en cuenta la potencia y el voltaje máximo generado por los paneles solares. Para determinar los paneles solares que se conectan en serie y paralelo se hace referencia a las ecuaciones seis y siete.

$$N_{SERIE} = \frac{48 V}{12 V}$$

$$N_{SERIE} = 4 \text{ Paneles}$$

$$N_{PARALELO} = \frac{24}{4}$$

$$N_{PARALELO} = 6$$

Si no se instala un regulador con seguimiento de punto de máxima potencia MPPT se debe utilizar otro criterio, el Criterio de Amperios-Hora, Porque la batería es la que marca la tensión del sistema (12, 24, 48 Volt.) ya que rara vez se alcanza el punto de máxima potencia de los módulos empleados. Para esto se requiere expresar el consumo de energía medio en Ah/día haciendo referencia a la ecuación ocho.

$$Q_{Ah} = \frac{7538,53 \frac{Wh}{día}}{48 V}$$

$$Q_{Ah} = 157,05 \frac{Ah}{día}$$

Así pues, la corriente que debe generar el campo de captación fotovoltaico (el total de los paneles instalados) en las condiciones de radiación solar del mes crítico se hace referencia a la ecuación nueve:

$$I_{GFV. MPP} = \frac{157,05 \frac{Ah}{día}}{4,01 h}$$

$$I_{GFV. MPP} = 39,16 A$$

Si se divide ($I_{GFV. MPP}$) la corriente generada por el campo de captación fotovoltaico (el total de los paneles instalados) entre la corriente ($I_{MOD. MPP}$) unitaria de cada módulo fotovoltaico se obtiene el total de módulos necesarios conectados en paralelo haciendo referencia a la ecuación 10:

$$N_{PARALELO} = \frac{39,16 A}{4,67 A}$$

$$N_{PARALELO} = 8,36 \approx 8$$

Finalmente se encuentra los ramales necesarios en paralelo para cubrir las necesidades del sistema, si no se usa un controlador de carga solar tipo MPPT. Lo recomendable es usarlo.

2.1.3.3 Dimensionamiento del Sistema de Acumulación.

Para calcular la capacidad nominal de la batería en función de la descarga máxima diaria (C_{nd}) se hace referencia a las ecuaciones número 11 y 12:

$$C_{nd}(Wh) = \frac{7538,53 \frac{Wh}{día}}{0,15 * 1}$$

$$C_{nd}(Wh) = 50256,86 \frac{Wh}{día}$$

$$C_{nd}(Ah) = \frac{50256,86 \frac{Wh}{día}}{48 V}$$

$$C_{nd}(Ah) = 1047 \frac{Ah}{día}$$

Para el cálculo de la Capacidad nominal de la batería en función de la descarga máxima estacional (C_{ne}) se hace referencia en las ecuaciones 13 y 14:

$$C_{ne}(Wh) = \frac{7538,53 \frac{Wh}{día} * 1}{0,7 * 1}$$

$$C_{ne}(Wh) = 10769,33 \frac{Wh}{día}$$

$$C_{ne}(Ah) = \frac{10769,33 \frac{Wh}{día}}{48 V}$$

$$C_{ne}(Ah) = 224,36 Ah$$

Una vez que se dimensiona la capacidad del banco de baterías se escoge un banco con un valor superior al calculado.

2.1.3.4 Dimensionamiento del Controlador de Carga Solar.

Para dimensionar el controlador de carga solar se debe calcular cual es la máxima corriente que debe soportar el regulador, a su entrada pero también a su salida. Para calcular la corriente de entrada al regulador se hace el producto corriente de cortocircuito de un módulo, y se multiplica por el número de las ramas conectadas en paralelo. Para determinar esto se hace referencia a la ecuación 15.

$$I_{entrada} = 1,25 * 5,06 A * 6$$

$$I_{entrada} = 37,95 A$$

Se usa la corriente de cortocircuito para el cálculo de la corriente de entrada al regulador por que será la máxima corriente que podría ser generada por el módulo fotovoltaico y ha de ser esa la que se tenga en cuenta para evitar pérdidas de rendimiento.

Para el cálculo de la corriente de salida hay que valorar las potencias de las cargas DC y las cargas AC. Para determinar esto se hace referencia a la ecuación 16.

$$I_{salida} = \frac{1,25 * (1492W)}{48 V}$$

$$I_{salida} = 38,85 A$$

VERIFICACIÓN DE LA HIPOTESIS

El sistema de generación fotovoltaica permitió alimentar el banco de baterías con energía necesaria para el funcionamiento del vehículo eléctrico solar diseñado para que pueda funcionar durante dos horas.

La captación de energía solar a través de los paneles solares utilizados en el presente estudio permitió acumular dos horas de energía suficiente en el banco de baterías de 65 Amperios hora, para movilizar el vehículo eléctrico ya que el consumo del motor eléctrico de corriente continua con una potencia de dos HP es de 31,1 Amperios

Se instaló un banco de baterías de plomo ácido a un nivel de voltaje de 48 V en conexión serie para almacenar una mayor cantidad de energía y cubrir con la demanda de voltaje requerida por el motor.

Por el diseño del vehículo eléctrico y el espacio disponible se buscó la mejor alternativa de las baterías existentes en el mercado, tomando en cuenta que si se instalan baterías de mayor capacidad no se acoplan en el área disponible del vehículo eléctrico.

CAPÍTULO III

OBJETIVOS DE LA PROPUESTA

GENERAL:

- Diseñar y Construir un sistema eficiente de alimentación solar mediante acumuladores de energía para un vehículo eléctrico.

ESPECIFICOS:

- Analizar los factores influyentes en los sistemas solares.
- Implementar un sistema de paneles solares que abastezca de energía suficiente para almacenar en un banco de baterías y operar de manera confiable el vehículo eléctrico.
- Obtener datos estadísticos para graficar mediante barras, dispersión, las variables de voltajes, corrientes y potencia del sistema solar para un vehículo eléctrico.

3. PROPUESTA.

3.1 Propuesta para la Selección de Paneles Solares.

Esencialmente para llegar a una solución conveniente, se toma en cuenta criterios técnicos económicos, por el cual se decide una alternativa de selección. El problema es encontrar la mejor relación entre la eficiencia y costo para implementar un sistema fotovoltaico en un área específica. Para facilitar el trabajo de selección de los paneles solares se construirá una matriz de selección, en donde se presenta de manera compacta, todos los datos necesarios para determinar cuál es la mejor solución al problema.

En este caso, los principales criterios a evaluar son los siguientes:

- Eficiencia (%).
- Costo (\$).

Esto se realiza debido a que se tiene una área limitada para montar el sistema fotovoltaico, la eficiencia de las celdas tienen un rol fundamental al momento de hacer la selección. Por otro lado, el costo (\$) también es muy importante ya que existen restricciones de capital para implementar el sistema. Respecto a la eficiencia, existe un punto cercano al 20% en donde el valor de las celdas se dispara y esto hace que sea un obstáculo dentro de la selección, por lo cual tendrán una nota bastante baja con relación a las demás posibilidades.

Las principales empresas de equipos fotovoltaicos evaluados fueron: La empresa Ingeniería Solar, Electro Ecuatoriana y Renovaenergía S.A. Las cuales ofertaron sus productos fotovoltaicos en valores muy elevados al cual teníamos presupuestado, una vez evaluada las cotizaciones de cada una de estas empresas se optó por la empresa Renovaenergía S.A. ya que la misma ofertó sus productos a precios moderados y con buenas expectativas para nuestro proyecto.

A continuación, se muestra una matriz de selección en la tabla 3. 1, con los paneles solares presentes actualmente en el mercado fotovoltaico en zonas cercanas al proyecto.

MATRIZ DE SELECCIÓN PARA PANELES SOLARES											
EMPRESA	SOLUCIONES			CRITERIO I				CRITERIO II			TOTALES
	MARCA	MODELO		EFICIENCIA (%)	NOTA	PESO (Kg)	COSTO (\$)	NOTA	PESO (Kg)		
DISTRIBUIDORA											
ELECTRO ECUATORIANA	SIMAX	SM536-95		17,8	70,0	8	420	16,1	8	86	
ELECTRO ECUATORIANA	SIMAX	SM536-90		16,8	66,1	8	370	18,2	8	84	
ELECTRO ECUATORIANA	SIMAX	SM536-85		15,9	62,5	8	320	21,1	8	84	
RENOVAENERGÍA S.A.	TYNSOLAR	TYN-85 S 5		15,9	62,5	8	225	30,0	8	93	
INGENIERIA SOLAR	EXMORK	100P		15,75	61,9	13	250	27,0	13	89	
INGENIERIA SOLAR	EXMORK	155P		15,75	61,9	15	275	24,5	15	86	
RENOVAENERGÍA S.A.	TYNSOLAR	TYN-135 P 6		15,3	60,2	12	275	24,5	12	85	

OBSERVACIONES: La eficiencia en cuanto a valoración tendrá un 70% y lo económico se evaluará en un 30% por lo cual se escoge el valor con la calificación mas alta correspondiente a 93 de la empresa RENOVAENERGÍA S.A.

Tabla 3. 1 Matriz de selección para paneles solares.

En la matriz de la tabla 12 se puede apreciar que la mejor solución se obtuvo con los paneles solares de la marca TYNSOLAR modelo TYN-85 S 5 de origen Chino con una nota igual a 93. Por lo tanto, la mejor solución son los paneles solares de la marca TYNSOLAR modelo TYN-85 S 5 con una eficiencia de 15,9% y un costo de \$ 225 c/u. Estos paneles tienen una dimensión de 1206mm x 552mm x 50mm y con un peso total de 8 Kg. Ver (Anexo N° 2).

3.2 Disposición Espacial de las Celdas Solares sobre el Vehículo.

Para las celdas escogidas, existen diferentes configuraciones posibles de ubicación sobre el vehículo eléctrico. Para escoger la mejor solución, se especificaron los siguientes criterios:

- No usar celdas de distintos tamaños.
- No sobrepasar en un 5% las dimensiones máximas del vehículo eléctrico.
- Utilizar un voltaje la más cercano posible al voltaje nominal de las baterías.
- En situaciones de aparcamiento del vehículo eléctrico, no sobrepasar los 15° de inclinación para obtener la mayor eficiencia de los paneles solares.

3.3 Dimensiones Máximas del Vehículo Eléctrico.

Para encontrar las dimensiones máximas posibles de ocupar en el vehículo eléctrico, con el fin de implementar el sistema fotovoltaico, se procedió a medir todas las partes básicas de éste, como son el ancho, largo y alto del mismo. A continuación se muestra la vista superior, ver figura 3. 1, y lateral, ver figura 3. 2, del vehículo eléctrico con sus respectivas dimensiones.

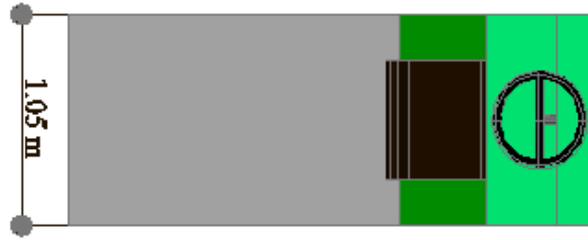


Figura 3. 1 Vista Superior del Vehículo Eléctrico.

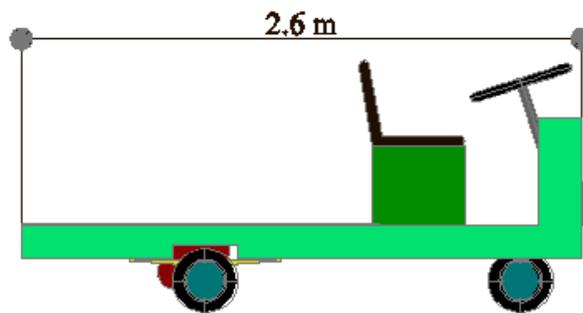


Figura 3. 2 Vista Lateral del Vehículo Eléctrico.

En la Figura 3. 3, se observa el chasis del vehículo eléctrico construido.



Figura 3. 3 Chasis del Vehículo.

Luego de tener las dimensiones totales del Vehículo Eléctrico en el cual se realiza el montaje del sistema fotovoltaico, técnicamente no se puede montar 24 paneles

solares en el área del vehículo eléctrico ya que las dimensiones no lo permiten por las restricciones impuestas.

3.4 Dimensionamiento de los Módulos Solares.

Para poder dimensionar los paneles solares, se debe considerar el máximo consumo en el sistema del vehículo eléctrico, y el área disponible para el montaje de los paneles solares, que corresponde en la parte superior obteniéndose las siguientes dimensiones, 2600mm x 1050mm es decir un área total de (2,73m²) para acoplar los módulos. Ver figura 3.4.

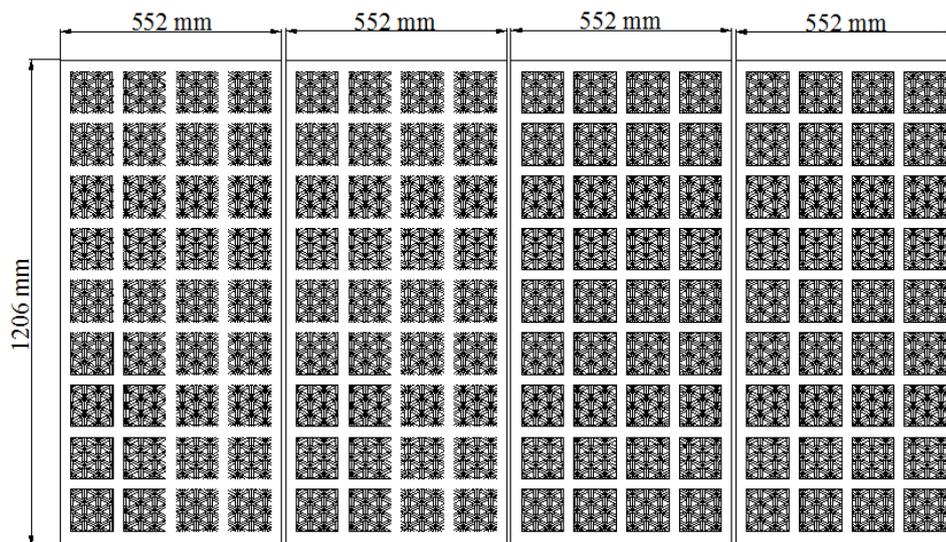


Figura 3. 4 Área de los Paneles Solares.

3.5 Controlador de Carga Solar Programable.

Para seleccionar el Controlador de Carga Solar óptimo, se debe tomar en cuenta las siguientes características técnicas de los paneles solares, como la corriente de corto circuito por ser las más altas en el sistema fotovoltaico, el número de paneles conectados en un área respectivamente. Como las diferencias técnicas entre los modelos de los Controladores de Carga Solar son casi nulas, se decidió

utilizar el dispositivo marca Phocos CX48, ya que este tiene un valor relativamente económico en comparación del resto de controladores.

Está basado en un simple controlador, por lo tanto, el voltaje de salida del controlador de carga solar programable (CCSP) nunca puede ser menor que el voltaje de entrada.

Como se mencionó en situaciones anteriores, la característica V-I de un panel o celda solar cambia con las condiciones meteorológicas a las que se expone. La característica de salida V-I de un panel solar fotovoltaico muestra los puntos de máxima potencia con respecto a la radiación solar y temperatura de la celda. La carga típica del banco de baterías, sin embargo, requiere un voltaje constante que no corresponde al voltaje del punto de máxima potencia del sistema. La función principal del Controlador de Carga Solar Programable es ajustar este voltaje, de modo que corresponda al voltaje en que el panel entrega la máxima potencia.

3.5.1 Funciones Básicas del Controlador de Carga Solar Programable.

Las funciones básicas de un Controlador de Carga Solar son muy simples, operacionales, confiables y seguras. Este bloquea la corriente inversa y previenen la carga excesiva de las baterías. Los paneles fotovoltaicos trabajan entregando corriente a las baterías en una sola dirección. Durante la noche, los paneles pueden dejar pasar un poco de corriente en la dirección contraria, causando una leve descarga de las baterías. La potencial pérdida es de menor importancia, pero es fácil de prevenir. En la mayoría de los Controladores de Carga Solar, la corriente de carga pasa a través de un semiconductor (un transistor) que actúa como válvula de control, previniendo así la corriente inversa sin ningún esfuerzo extra o costo adicional.

Cuando una batería alcanza su carga total, no puede almacenar más energía. Si se continúa aplicando energía, el voltaje de la batería llega a un valor demasiado alto. El agua se separa en hidrógeno y oxígeno y las burbujas del oxígeno se liberan

rápidamente. Parece que la batería hirviera, aunque realmente no esté caliente. Hay una pérdida excesiva de agua, y existe el riesgo de que los gases puedan encenderse y causar una pequeña explosión. La prevención de la carga excesiva es simplemente un asunto de reducir el flujo de energía a la batería cuando ésta alcanza un voltaje específico. Los Controladores de Carga Solar “monitorean” el voltaje por medio de sensores y regulan la carga en respuesta a la batería.

Este controlador tiene la capacidad de cargar un banco de 4 baterías de Pb-Ac, de 12 V y 65 Ah cada una, las cuales están conectadas en serie, obteniendo así el banco de acumulación de 48 V y 65 Ah, disponible en el vehículo eléctrico, por lo cual el banco debe soportar como voltaje máximo de carga al menos 58 V, punto en el cual las baterías se encuentran en su estado de carga máximo. Para satisfacer estas especificaciones, en el mercado ecuatoriano existen varias marcas, entre las cuales se destaca Tri Star PWM, Sun Saver MPPT, Phocos CX48.

3.5.2 Especificaciones.

El fabricante recomienda no hacer funcionar el controlador de carga solar programable, CCSP con corrientes o voltajes mayores del sistema fotovoltaico o de las baterías. A continuación, se presentan las especificaciones de voltajes y corrientes máximas y mínimas, máxima eficiencia, máximo tiempo de muestreo, consumo, tamaño y peso de la unidad Phocos CX48. En la tabla 3. 2 se dan los parámetros para el controlador de carga solar programable.

DATOS TÉCNICOS	
Voltaje Nominal	24 / 48 V, reconocimiento automático
Voltaje de Carga Profunda	28.8 / 57.6 V (25°C), 0.5-2h
Voltaje de Flotación	27.4 / 54.8 V (25°C), 2 h
Voltaje de Desconexión de Carga	22.0-24.4 / 44.0 -48.8 V dependiendo del parámetro
Voltaje de Reconexión de Carga	25.6 / 51.2 V

Compensación de Temperatura	-4 mV/Cell °K
Máx. Corriente del Panel Solar	20/ 40 A de acuerdo al número de modelo @ 25°C (sin corriente de carga a 50°C)
Máx. Corriente de Carga	20 / 40 A de acuerdo al número de modelo @ 25°C (sin corriente solar a 50°C)
Dimensiones	110 x 58 x 92 mm. (w x h x d)
Peso	CX48-20: 348 gr, CX48-40: 365 gr
Máx. Tamaño del Cable	16 mm ² (AWG #6)
Autoconsumo	4 mA
Escala de Temperatura Ambiental	-40 a + 50 °C
Caja de Protección	IP 22

Tabla 3. 2 Especificaciones del Phocos CX48.

3.5.3 Procedimientos para el Montaje del Controlador de Carga Solar.

La unidad debe ser montada de tal manera que no se exponga al agua o al sol directo. Aunque la unidad es muy eficiente, ésta disipa algo de potencia, por lo tanto, funcionará más eficientemente en un lugar con buena ventilación.

El controlador de carga solar programable, CCSP Phocos CX48 trae terminales exteriores para conectar las entradas y salidas. Esto hace que sea fácil de conectar o desconectar, al conectar el CCSP con el sistema eléctrico del vehículo, es importante tener en cuenta lo siguiente:

- Las baterías deben conectarse primero. Si el sistema fotovoltaico se conecta primero, los condensadores de salida de la unidad serán vistos como carga de la batería y el dispositivo podría dañarse.
- Conecte el cableado a la batería con la polaridad correcta. Para evitar voltaje en los cables, conecte primero el controlador y luego la batería.

Tenga en cuenta la longitud de cable recomendada (mín. de 30 cm. a máx. aprox. de 100 cm.) y el tamaño del cable:

CX48-20: mín. 4 mm².

CX48-40: mín. 10 mm².

- Conecte con la polaridad correcta los cables dirigidos al módulo solar. Para evitar voltajes en los cables, conecte primero el controlador y luego el módulo solar. Tenga en cuenta el tamaño de cable recomendado:
CX48-20: mín. 4 mm².
CX48-40: mín. 10 mm².
- Para evitar voltaje en el borne presione el botón para cerrar la salida del consumo. Conecte con la polaridad correcta los cables dirigidos a los consumos. Tenga en cuenta el tamaño de cable recomendado:
CX48-20: mín. 4 mm².
CX48-40: mín. 10 mm².
- Los terminales negativos de las baterías y del sistema fotovoltaico no deben compartir una tierra común. Es importante que el negativo de las baterías sea aislado del negativo del sistema fotovoltaico.

Cuando los cables son unidos, es probable que ocurran chispazos. Esto se debe a la carga de los condensadores del filtro de entrada y salida, es considerado como algo normal.

Cuando el controlador reciba corriente, ya sea de una batería o de un módulo solar, éste ejecuta un auto test rutinario. Se da indicación del mismo con barras LCD durante aprox. 0.5 segundos, luego se muestra el microprograma en símbolos codificados durante otro segundo (éste es un procedimiento propio al funcionamiento). Luego la visualización cambia a funcionamiento normal.

El controlador de carga se ajusta automáticamente al sistema de voltaje de 24 V o 48 V. Si durante el encendido el voltaje excede de 40.0 V, el controlador cambia a un sistema de 48 V automáticamente.

Si el voltaje de la batería no está dentro de la escala normal de funcionamiento (42 a 62 V), se muestra un MENSAJE DE ERROR.

El controlador está programado de fábrica para funcionar con baterías de plomo de electrolito líquido. Si quiere utilizar una batería (tipo GEL) puede ajustar el controlador con el Menú de Programación 1. En ese caso se desactivará la carga de ecualización.

Presentamos la configuración del diagrama del Controlador de Carga Solar Programable en la figura 3. 5.

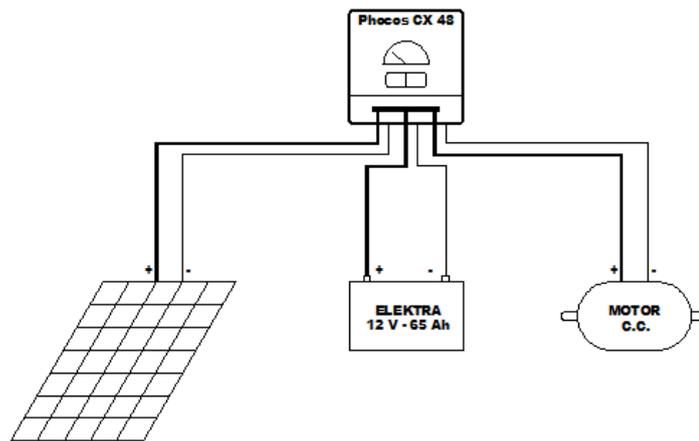


Figura 3. 5 Diagrama del Controlador de Carga Solar Programable.
(Fuente: Autores)

3.6 Cargador de Baterías para el Sistema de Corriente Alterna.

Para la carga de baterías de plomo-ácido, de las usadas en el vehículo eléctrico es preciso usar una fuente dotada de características especiales. El circuito propuesto es automático, avisando, mediante el accionamiento de un conjunto de led's o sistema de aviso, que la batería se encuentra cargada. El circuito es para un banco de baterías de 48V. La carga del banco de baterías de plomo-ácido se hace a través de la entrada de una corriente

durante cierto tiempo. La intensidad de esta corriente determina la velocidad de carga y normalmente está limitada a valores relativamente bajos ya que en estas circunstancias se considera como seguros para la integridad del banco de baterías considerándose como una carga lenta.

A continuación se realizan los cálculos pertinentes para el tiempo de carga del banco de baterías.

$$T_{carga} = \frac{C}{I_{cargador}}$$

$$T_{carga} = \frac{65 Ah}{8 A}$$

$$T_{carga} = 8,13 h$$

Para el sistema del cargador de baterías por corriente alterna, C.A. Se diseña un transformador y tres circuitos electrónicos para el funcionamiento del mismo. Este transformador tiene un bobinado de 3 a 5A típicamente y los diodos que rectifican la corriente del secundario. La tensión obtenida en el valor de pico puede estar entre 48 y 52 Voltios, y es aplicada a los circuitos electrónicos, para posteriormente cargar el banco de baterías. Para diseñar y construir un transformador se debe tener en cuenta el área del núcleo, en el cual se va a colocar la bobina primaria y secundaria. Como se puede apreciar en las figuras 3. 6.



Largo del núcleo (chapas apiladas)



Ancho del núcleo

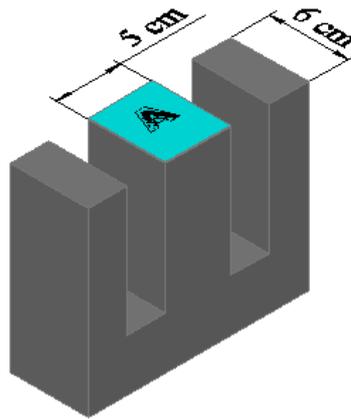


Figura 3. 6 Calibración del Núcleo para Definir el Área.

(Fuente: Autores)

Teniendo el área conocida se procede a remplazar en las siguientes fórmulas.

Dónde:

A= Área (cm²)

* = 0,8 si el núcleo es fino y 1,2 si el núcleo es de inferior calidad.

$$A = b * h$$

$$A = 6 \text{ cm} * 5 \text{ cm}$$

$$A = 30 \text{ cm}^2$$

$$A = * \sqrt{Pot}$$

Dónde:

S= Potencia aparente (VA).

P= Potencia activa o real (W).

Cos. ρ= Factor de potencia 0,8.

$$P = * (A)^2$$

$$P = 0,8 (30 \text{ cm}^2)^2$$

$$P = 720 \text{ W}$$

$$S = \frac{P}{\cos \rho}$$

$$S = \frac{720 \text{ W}}{0,8}$$

$$S = 900 \text{ VA} = 0,9 \text{ KVA}$$

Una vez obtenida la potencia activa del transformador, se procede a determinar las corrientes tanto del bobinado primario como del secundario.

$$P = E * I * \cos \rho$$

Primario

Secundario

$$I_1 = \frac{P}{E_1 * \cos \rho}$$

$$I_2 = \frac{P}{E_2 * \cos \rho}$$

$$I_1 = \frac{720W}{120 V * 0,8}$$

$$I_2 = \frac{720W}{48 V * 0,8}$$

$$I_1 = 7,5 A$$

$$I_2 = 18,75 A$$

Para culminar con el diseño del transformador, se dimensiona la relación de vueltas por voltio, para así obtener el número de espiras y calibres del conductor, para la bobina primaria y secundaria.

Dónde:

N= Número de espiras.

N.V= Relación de vueltas por voltio.

$$N.V = A * 0,02112$$

$$N.V = 30 \text{ cm}^2 * 0,02112$$

$$N.V = 0,6336$$

Primario

Secundario

$$N_1 = \frac{V_1}{N.V}$$

$$N_2 = \frac{V_2}{N.V}$$

$$N_1 = \frac{120 V}{0,6336}$$

$$N_2 = \frac{48 V}{0,3663}$$

$$N_1 = 189,4 \text{ Espiras}$$

$$N_2 = 75,75 \text{ Espiras}$$

$$\#_1 = 13$$

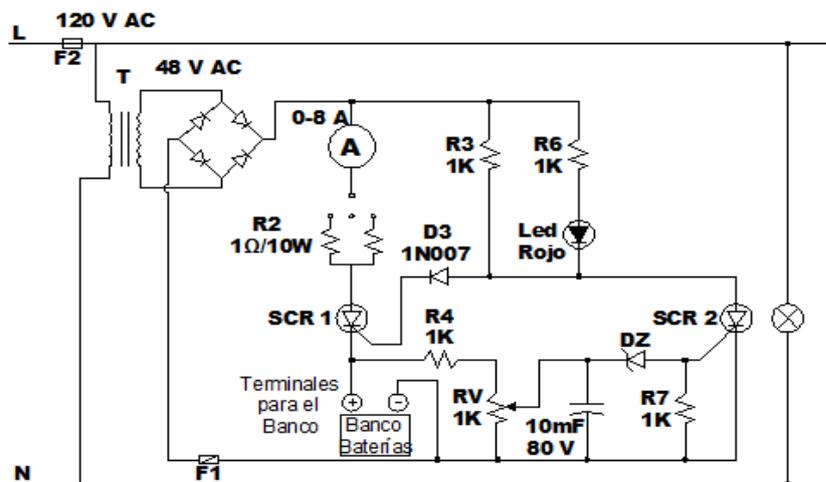
$$\#_2 = 9$$

Para obtener el número del conductor esmaltado para bobinas hay que verificar en la tabla 3. 3 del anexo 3 con las respectivas corrientes de los bobinados.

Conductores Esmaltados Escogidos para las Bobinas del Transformador						
Número AWG	Diámetro (mm)	Sección (mm ²)	Número espiras por cm	Kg. por Km	Resistencia (Ω/Km.)	Capacidad (A)
9	2,906	6,63		58,9	2,56	19
13	1,828	2,63		23,3	6,49	7,5

Tabla 3. 3 Conductores Esmaltados para Bobinados.

- En el primer circuito se diseña la parte de potencia de corriente alterna, C.A. en si consiste el cargador del banco de baterías. Ver figuras 3. 7.



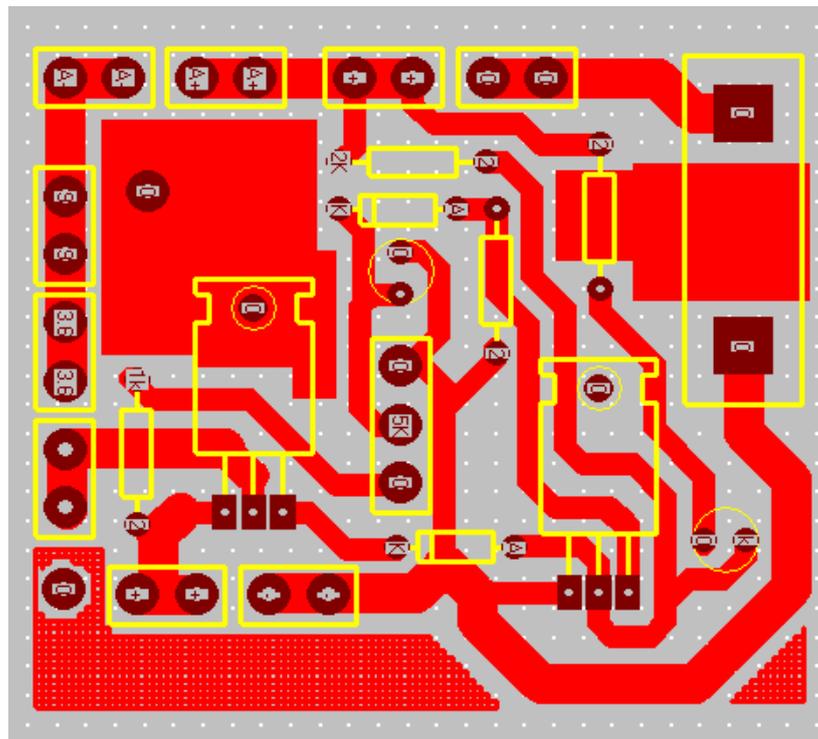
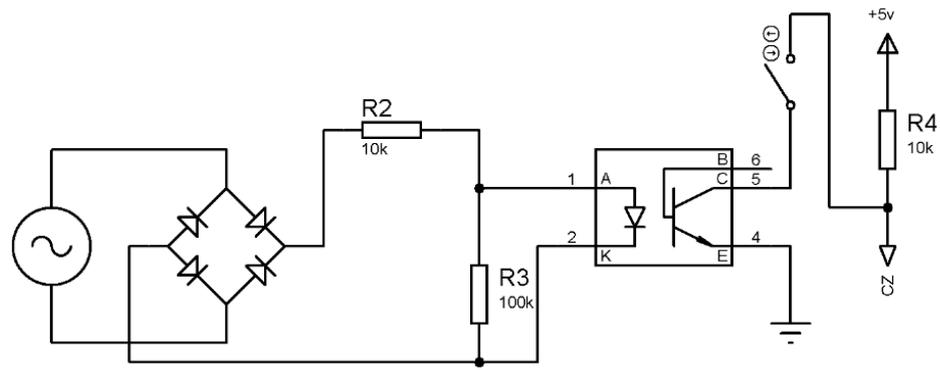


Figura 3. 7 Diagrama del Cargador de Baterías con su Respectiva Placa.
(Fuente: Autores)

- En el segundo circuito se diseña un sistema por el cual se puede censar el estado de carga del banco de baterías, y el método de carga que se le aplica, puede ser por una toma de fuerza de corriente alterna, C.A de (110 -120 Voltios). Ó por el sistema de carga solar de corriente continua, C.C de (48 Voltios). Ver figuras 3. 8.

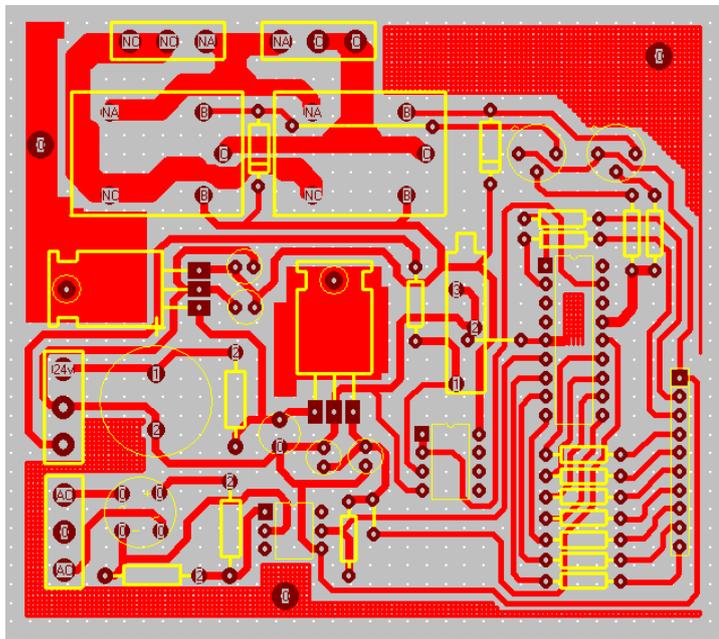
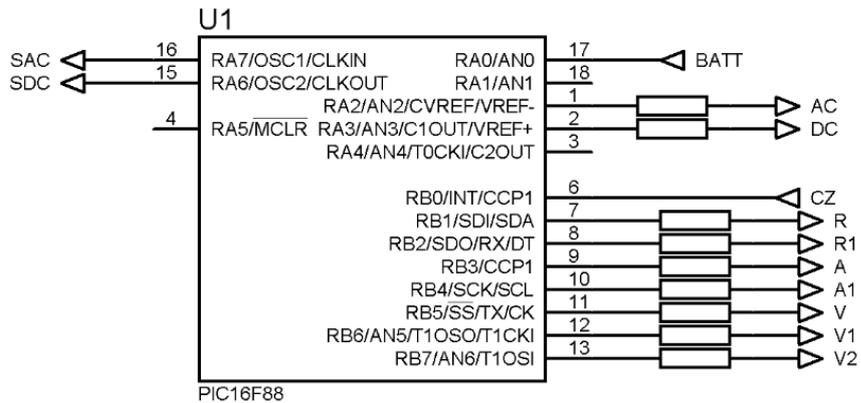
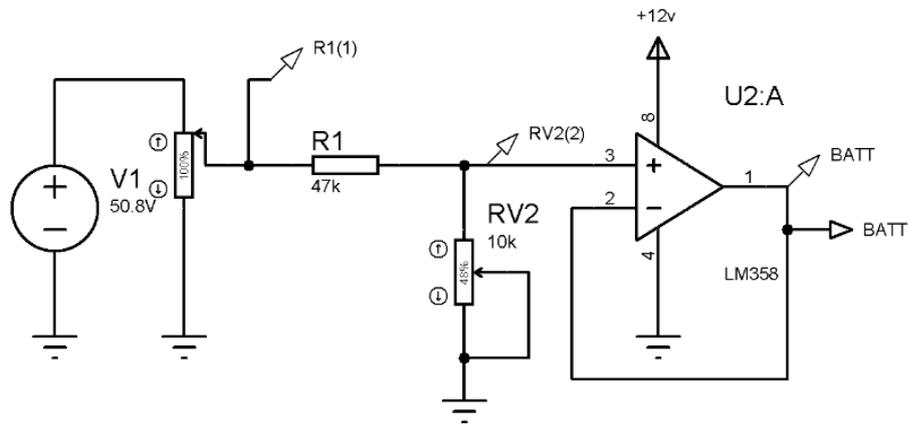


Figura 3. 8 Diagrama para el Censo del Banco de Baterías con su Respectiva Placa.

(Fuente: Autores)

- En el tercer circuito se acoplan los led's indicadores, este se interconecta con el segundo circuito. El mismo que nos indica el estado de carga del banco de baterías por medio de 7 led's, los 3 primeros de color verde indican cargas bajas, el 4 y 5 led de color amarillo indican carga intermedia, los dos restantes de color rojo indican carga completa del banco de baterías. También se agrega 2 led's de color rojo y azul, los mismos que indican el método de carga que se le aplica al sistema, siendo así el led de color rojo indica la carga por corriente alterna, C.A. de (110 – 120 Voltios). Y el led de color azul indica la carga por corriente continua C.C. de (48Voltios). Ver figuras 3. 9.

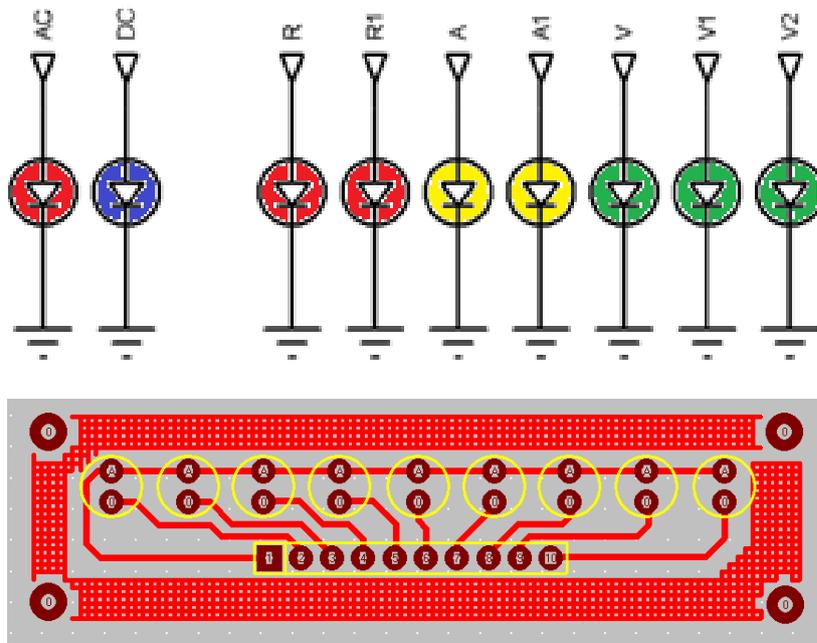


Figura 3. 9 Diagrama Indicador del Estado del Banco de Baterías con su Respectiva Placa.

(Fuente: Autores)

Cálculo para el tiempo de descarga del banco de baterías.

$$t_{descarga} = \frac{C}{I}$$

$$t_{descarga} = \frac{65 Ah}{30 A}$$

$$t_{descarga} = 2,16 h$$

$$t \approx 2 h 9 min$$

Dónde:

C = Capacidad de las baterías (Ah).

1,66 = Factor de corrección de batería que tiene en cuenta la profundidad de descarga admitida, el envejecimiento y un factor de temperatura.

D tot. = Demanda total del sistema.

E = Voltaje (V).

I = Corriente (A).

P = Potencia (W).

t = Tiempo (h).

Bat. = Número de baterías del Banco.

3.7 Banco de Baterías.

El banco de baterías es un elemento de vital importancia en el vehículo eléctrico. Son la fuente de alimentación de corriente directa permanente, para los sistemas de protección, control, señalización, iluminación y la operación del motor el cual moviliza el vehículo. El banco de baterías requiere de una puesta en servicio preciso, un mantenimiento continuo, pruebas y mediciones en operación. De acuerdo a los datos del fabricante, las baterías de plomo-acido bien instalados y mantenidos, deberá tener una vida útil de 3 a 4 años operando confiablemente. El banco de baterías actúa como fuente de corriente continua, (C.C). En las aplicaciones estacionarias, las baterías están en carga flotante, es decir, conectadas permanentemente a una fuente de corriente continua para asegurar que disponen de toda su capacidad en el momento oportuno.

3.8 Estructura.

La estructura de fijación de los módulos debe ser de un material algo liviano y resistente como para soportar el peso de los paneles solares y no añadir peso innecesario. Un posible material es el tubo galvanizado, el cual es fácil de cortar, doblar y fijar mediante suelda a nuestro vehículo además es muy usual como para este tipo de aplicaciones. Tomando esto en cuenta y verificando las dimensiones reales del vehículo eléctrico y las dimensiones de los paneles solares diseñados, se realizó el siguiente diseño estructural, ver figuras 3. 10.

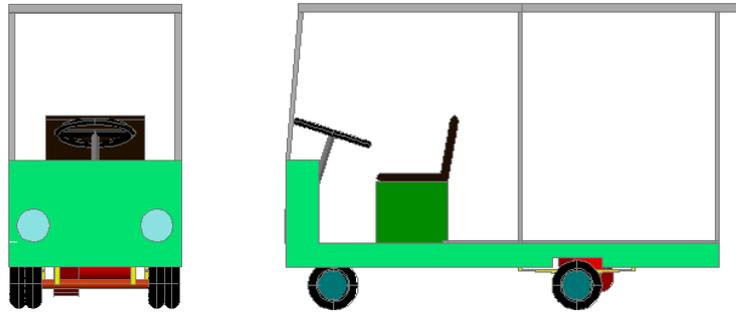


Figura 3. 10 Diseño con Vistas Frontal y Lateral de la Estructura Metálica.
(Fuente: Autores)

3.9 Análisis para el Ajuste del Límite Superior de Voltaje en el Banco de Baterías.

Para evitar que el voltaje del sistema fotovoltaico se eleve demasiado y para proteger el Controlador de Carga Solar Programable, el límite superior del voltaje puede ser ajustado manualmente por el usuario. Una vez fijado, el voltaje de salida de la unidad nunca excederá el voltaje límite. Bajo uso normal, el límite superior del voltaje se fija en el voltaje máximo cuando el banco de baterías se encuentra totalmente cargado. Éste normalmente está entre 15 y 20% del voltaje nominal de las baterías. Por lo tanto, el límite superior del voltaje debe fijarse de la siguiente manera:

$$V_{\text{Límite}} = 1,2 * V_{\text{BATERÍAS}}$$

En este caso, como el voltaje nominal de las baterías es 48 V, el voltaje límite será entonces:

$$V_{\text{Límite}} = 1,2 * 48 \text{ V}$$

$$V_{\text{Límite}} = 57,6\text{V} \approx 58 \text{ Voltios}$$

3.10 Acoplamiento de los Paneles Solares.

A continuación, se presenta el diseño propuesto de los módulos acoplados al vehículo eléctrico, ver figuras 3. 11.

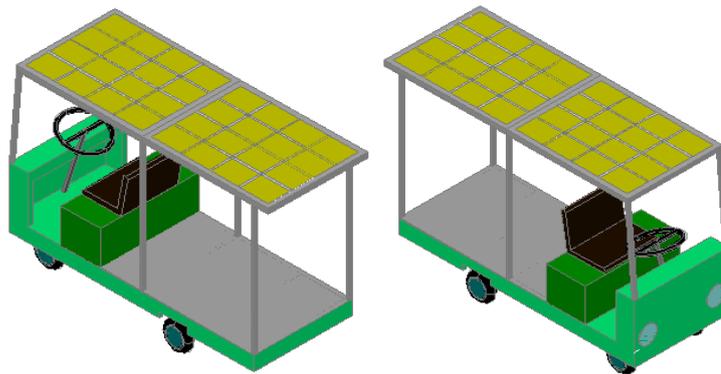


Figura 3. 11 Diseño con Vistas en Perspectiva para los Paneles Solares.
(Fuente: Autores)

Realizado el diseño correspondiente se realiza el montaje correspondiente de los paneles solares, ver figuras 3. 12.



Figura 3. 12 Paneles Solares Acoplados en el Vehículo Eléctrico.
(Fuente: Autores)

3.11 Pruebas Estáticas del Vehículo Eléctrico Solar.

Las pruebas estáticas del vehículo se las realizó en forma constante con la construcción del mismo, para medir el rendimiento y fiabilidad de los sistemas eléctricos y mecánicos del vehículo, y para asegurar el cumplimiento del mismo, cuando el vehículo eléctrico solar está detenido. La estructura del chasis fue sometida a una carga de 640 Kg, correspondiente al peso promedio de ocho personas, se verificó que dicha estructura soporta este peso, por lo que el chasis es confiable y seguro.

3.11.1 Pruebas de Carga con el Sistema Solar (C.C.).

La prueba que se da a conocer es con el sistema de carga solar fotovoltaica de corriente continua (C.C.), el mismo que se analiza en un día soleado con una radiación promedio 1 KW h/m^2 , y una temperatura ambiente de $25 \text{ }^\circ\text{C}$, obteniendo en dichas condiciones una corriente de 3,7 A, cuando el banco de baterías se encuentra con un límite bajo de voltaje (40,4 V) dando lugar a que el vehículo eléctrico solar no se movilice.

Para que el banco de baterías se encuentre en condiciones de carga total se necesitan un tiempo de cuatro a cinco horas aproximadamente para que el vehículo eléctrico solar pueda operar durante dos horas aproximadamente.

Los resultados se demuestran en las figuras 3. 13.



Figura 3. 13 Medición de Corriente Entregada por el Banco de Paneles Fotovoltaicos hacia el Banco de Baterías.

3.11.2 Pruebas de Carga con el Sistema de Corriente Alterna (C.A.).

La prueba de carga realizada en el sistema de corriente alterna (C.A.), se analizan las variables de corrientes, voltajes así obteniendo el tiempo necesario para la carga, la cual se puede observar que necesita un tiempo aproximado de cuatro a cinco horas conectado en un tomacorriente, para poder tener la suficiente demanda y movilizar el vehículo eléctrico solar, tomando en cuenta a la corriente alterna (C.A.), en el sector residencial puede surgir variaciones de voltaje entre 110 – 120V según su ubicación. Como se observa en la figura 3. 14 el voltaje obtenido con el multímetro es de 117,2V siendo este apto para alimentar en el bobinado primario del transformador para el sistema de carga en el vehículo eléctrico solar.



Figura 3. 14 Medición de Voltaje Entregado por la Red de la Empresa Distribuidora para el Bobinado Primario del Transformador.

Se realiza la toma de voltaje en el bobinado secundario del transformador, luego de ser rectificadora con el puente de diodos de onda completa obteniéndose un voltaje de 48,6V siendo este apto para cargar el banco de baterías dimensionado de 48V, el mismo que se observa en la figura 3. 15.



Figura 3. 15 Medición de Voltaje Rectificado para el Circuito del Cargador del Banco de Baterías.

3.11.3 Pruebas de Acumulación en el Banco de Baterías.

Mediante la prueba que se realiza en este ítem se obtiene un valor medido con el multímetro de 49,4 V ver figura 3. 16, siendo este el resultado del banco de baterías a plena carga, el cual es apto para poner en marcha el vehículo eléctrico solar.



Figura 3. 16 Medición de voltaje en los bornes del banco de baterías a su plena carga.

Considerando que el vehículo se moviliza dos horas aproximadamente, se puede apreciar los efectos de descarga del banco de baterías con un nivel bajo de (40,4V) dando lugar a que el vehículo eléctrico solar no se movilice, este efecto se puede apreciar en la figura 3. 17.

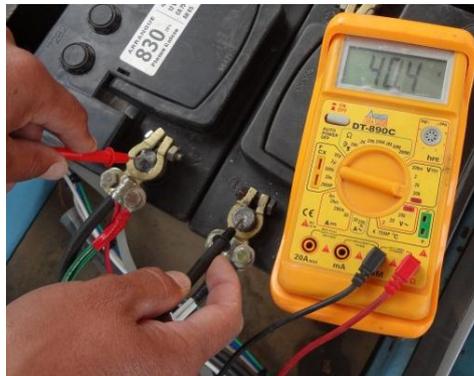


Figura 3. 17 Medición de Voltaje en los Bornes del Banco de Baterías a su Mínima Carga.

3.12 Pruebas Dinámicas del Vehículo Eléctrico Solar.

Las pruebas dinámicas del vehículo eléctrico solar se realizan cuando el vehículo está en marcha. Una de las pruebas eléctricas fue medir los voltajes y corrientes del motor (C.C.)

3.12.1 Pruebas de Energización en el Motor (C.C.) del Vehículo Eléctrico.

En esta etapa se realiza las pruebas de arranque del motor de corriente continua, tomando en cuenta que los motores eléctricos para operar consumen un excedente de corriente, mayor que su corriente nominal, que es aproximadamente de dos a ocho veces superior según las condiciones del motor.

Para sustentar esto deducimos con la siguiente ecuación, dando esto como resultado aproximadamente el doble de su corriente nominal, esta prueba se aprecia en la figura 3. 18.

$$I_a \approx I_n * 1,65$$

$$I_a \approx 31,1A * 1,65$$

$$I_a \approx 51,3 A$$



Figura 3. 18 Medición de Corriente Máxima de Arranque Consumida por el Motor de Corriente Continua (C.C.) de dos HP.

Teniendo en cuenta los motores de corriente continua (C.C.), el valor de la corriente nominal es la cantidad de corriente que consumirá en condiciones normales de operación, la cual se puede deducir con la siguiente ecuación.

Dónde:

V = Voltaje (V).

I = Corriente (A).

P = Potencia (W).

$$P = V * I$$

$$I_{Motor\ C.C.} = \frac{P}{V}$$

$$I_{Motor\ C.C.} = \frac{1492W}{48V}$$

$$I_{Motor\ C.C.} = 31,1\ A$$

Este cálculo se corrobora con la prueba realizada, midiendo en la fase del banco de baterías luego de dos segundos hasta que la corriente se estabilice, dando como resultante el consumo de corriente del motor (C.C.), siendo un valor de 31,1 A. Este dato se aprecia en la figura 3. 19.



Figura 3. 19 Medición del Consumo de Corriente Nominal Cuando el Motor se Estabiliza.

3.12.2 Pruebas de Energización en el PLC y Ventilación para el Cargador del Banco de Baterías.

En este ítem se realiza la prueba de medición de corriente en el sistema auxiliar de control, para el PLC con una potencia de (5W) para las luces direccionales y parqueos, así también el ventilador con una potencia de (6W) para enfriar el cargador de baterías en 12 voltios como se puede apreciar en la figura 3. 20.

De la misma manera ese dato se comprueba con los cálculos que se detalla a continuación.

$$I_{PLC} = \frac{5 W}{12 V} = 0,4 A$$

$$I_{Ventilador} = \frac{6 W}{12 V} = 0,5 A$$

$$I_{Total} = I_{PLC} + I_{Ventilador}$$

$$I_{Total} = 0,4 A + 0,5 A = 0,9 A$$



Figura 3. 20 Medición de Corriente Consumida por el Sistema de Control de 12V del PLC y la Ventilación del Cargador.

3.12.3 Pruebas de Energización en los Faros.

Se puede apreciar la toma de corriente con las luces encendidas de 50W cada una en el vehículo, así se obtiene un valor de 8,2 A, la cual sumado el valor de la corriente que consume el PLC y la ventilación del cargador se tiene 9,1 A, visualizando en la figura 3. 21, siendo la corriente total.

Lo expuesto anteriormente se comprueba con los cálculos.

$$I_{Faros} = \frac{100 W}{12 V} = 8,2 A$$

$$I_{Total} = I_{PLC-Ventilador} + I_{Faros}$$

$$I_{Total} = 0,9 A + 8,2 A = 9,1 A$$



Figura 3. 21 Medición de Corriente Consumida por el Sistema de Iluminación Principal de 12V Incluido el PLC y Ventilador.

3.12.4 Pruebas de Energización para las Direccionales y Parqueos.

En las pruebas realizadas se puede apreciar la toma de corriente con los siguientes elementos en funcionamiento, el PLC, ventilación del cargador de baterías, faros encendidos y luces de señalización teniendo estos una potencia de 0,3 W cada uno, así obteniéndose un valor de 9,2 A, el cual es la resultante de la sumatoria de

los elementos detallados anteriormente. A continuación se puede visualizar en la figura 3. 22. También se realiza la comprobación matemáticamente.

$$I_{Direccionales} = \frac{0,3 W * (4)}{12 V} = 0,1 A$$

$$I_{Total} = I_{PLC-Ventilador} + I_{Faros} + I_{Direccionales}$$

$$I_{total} = 0,9 + 8,2 + 0,1 = 9,2 A$$



Figura 3. 22 Medición de Corriente Consumida por el PLC, Ventilación del Cargador, Iluminación de Faros, Direccionales de 12V.

3.12.5 Pruebas de Energización en el Pito.

En las pruebas realizadas se puede apreciar la toma de corriente con los siguientes elementos en funcionamiento, el PLC, ventilación del cargador de baterías, faros encendidos, luces de señalización y las señales acústicas (pito - reversa) teniendo estos una potencia de 3,6 W el pito y 2,4 W la chicharra cada uno, así obteniéndose un valor de 9,7 A, el cual es el resultante de la suma de los elementos detallados anteriormente. A continuación se puede visualizar en la figura 3. 23. También se realiza la comprobación matemáticamente.

$$I_{Pito} = \frac{3,6 W}{12 V} = 0,3 A$$

$$I_{Chicharra} = \frac{2,4 W}{12 V} = 0,2 A$$

$$I_{Total} = I_{PLC-Ventilador} + I_{Faros} + I_{Direccionales} + I_{Pito-Chicharra}$$

$$I_{Total} = 0,9 \text{ A} + 8,2 \text{ A} + 0,1 \text{ A} + 0,5 \text{ A} = 9,7 \text{ A}$$



Figura 3. 23 Medición de Corriente Consumida por el PLC, Ventilación del Cargador, Iluminación de Faros, Direccionales y Señales Acústicas de 12V.

3.13 Análisis de Costo Beneficio con Fuente Alternativa de (C.A.) para Cargar un Banco de Baterías de un Vehículo Eléctrico.

Es la gran pregunta a la hora de analizar los costos, o ahorro, de un vehículo eléctrico frente a uno tradicional, se habla del factor económico que va a costar realizar una carga en el banco de baterías del vehículo eléctrico y de cómo calcular este costo. Lo primero que se realiza es buscar la capacidad del banco de baterías del vehículo eléctrico. Se mide en kWh. Por ejemplo, el vehículo eléctrico que se está probando tiene una capacidad del banco de baterías de 65 Ah y una autonomía de 2 horas aproximadamente.

Dónde:

E = Energía (Wh).

I = Corriente (A).

P = Potencia (W).

t = Tiempo (h).

V = Voltaje (V).

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{I_2}{I_1} \quad \frac{120 V}{48 V} = \frac{5 A}{I_1}$$

$$I_1 = \frac{48 V * 5 A}{120 V}$$

$$I_1 = 2 A$$

Se sacó el % de 65Ah de la descarga el 20% = 13Ah

Energía disponible para utilizar

$$13 \text{ Ah} * 48 \text{ V} = 624 \text{ Wh}$$

$$P = 48 \text{ V} * 5 \text{ A}$$

$$P = 240 \text{ W}$$

$$t = \frac{624 \text{ Wh}}{240 \text{ W}}$$

$$t = 2,6 \text{ h}$$

$$P = V * I$$

$$P = 120 \text{ V} * 2 \text{ A}$$

$$P = 240 \text{ W}$$

$$E = P * t$$

$$E = 240 \text{ W} * 2,6 \text{ h}$$

$$E = 624 \text{ Wh}$$

¿Cómo calcular el coste para recargar el banco de baterías? Se debe recurrir a la factura de luz y fijarse en el precio que se tiene pactado con la empresa eléctrica distribuidora en cada kWh. Suele rondar entre los 0,081 y los 0,6712 centavos de dólar el kWh, según sea la clase de vivienda y si se tiene o no una tarifa con demanda horaria. En la tabla 3. 4 se puede apreciar los cargos tarifario únicos emitidos por el CONELEC.

CONELEC				
DIRECCIÓN DE TARÍFAS				
PERIODO: ENERO - DICIEMBRE				
EMPRESAS ELÉCTRICAS				
NORTE - COTOPAXI - AMBATO - RIOBAMBA - CNEL BOLIVAR - AZOGUEZ - CENTROSUR - SUR				
CARGOS TARIFARIOS ÚNICOS				
RANGO DE CONSUMO	DEMANDA (USD/kW)	ENERGÍA (USD/kWh)	COMERCIALIZACIÓN (USD/Consumidor)	
CATEGORÍA RESIDENCIAL				
NIVEL TENSIÓN BAJA Y MEDIA TENSIÓN				
0-50		0,081	1,414	
51-100		0,083		
101-150		0,085		
151-200		0,087		
201-250		0,089		
251-300		0,091		
301-350		0,093		
351-500		0,095		
501-700		0,1185		
701-1000		0,135		
1001-1500		0,1609		
1501-2500		0,2652		
2501-3500		0,426		
Superior		0,6712		
COMERCIALES, INDUSTRIALES, E. OFICIALES, BOMBEO DE AGUA, ESC. DEPORTIVOS, SERVICIO COMUNITARIO, AUTOCONSUMO Y ABONADOS ESPECIALES				
BAJA TENSIÓN CON DEMANDA HORARIA				
7H00 HASTA 22H00	4,79	0,07	1,414	
22H00 HASTA 7H00		0,056		

Tabla 3. 4 Cargos tarifarios únicos emitidos por el CONELEC.

(http://www.conelec.gob.ec/images/documentos/doc_10094_CARGOS%202012.pdf)

Por lo tanto, en las viviendas no se tiene contratada una tarifa con demanda horaria ya que son netamente residenciales, es decir, siempre, y a cualquier hora, el kWh que se consume va a costar entre 0,081 y 0,6712 ctvs de dólar. Para este proyecto se toma en cuenta una vivienda residencial, cuyas características son de clase B y un consumo promedio de 180 kWh mensuales.

Cargar el banco de baterías del vehículo eléctrico solar, de 65 Ah costará:

$$0,624 kWh * 0,085 ctvs = 0,053ctvs. DIARIOS$$

$$0,053ctvs.* 20 \text{ días} = \$ 1,06 \text{ MENSUALES}$$

Si se tiene un vehículo eléctrico, lo normal sería contratar una tarifa eléctrica con demanda horaria, para que de esta manera, aunque por las tardes se tenga el kWh a un precio más caro, de 0,07 ctvs, y por la noche se tenga un precio de 0,056 ctvs, esto hará ahorrar mucho dinero en la recarga del banco de baterías del vehículo eléctrico.

En Latacunga, de 22:00 hasta 7:00 se tarifica a 0,056 ctvs el kWh. Por lo que cargar el banco de baterías de 65 Ah costaría:

$$0,624 kWh * 0,056 ctvs = 0,034ctvs. \text{ DIARIOS}$$

$$0,034ctvs.* 20 \text{ días} = \$ 0,68 \text{ MENSUALES}$$

Si se suma el subsidio cruzado, valor de comercialización. Teniendo como resultado el costo total de la recarga del banco de baterías de 65 Ah – 48 V.

Costo Consumo + Subsidio Cruzado (11%) + Valor Comercialización

$$\$ 0,68 + \$ 0,075 + \$ 1,41 = \$ 2,17$$

COSTO PLANILLA = Costo Consumo + Alumbrado Público (18%)

$$\text{COSTO PLANILLA} = \$ 2,17 + \$ 0,39 = \$ 2,56$$

Con un sistema de recarga por medio de una fuente de energía eléctrica, se mejoraría la curva de demanda eléctrica, si se opta por recargar en las horas con demanda horaria desde las 22H00 hasta las 7H00, bajando notoriamente los picos de demanda. En la figura 3. 24, se aprecia una cresta con un pico muy elevado siendo este la curva de demanda actual.

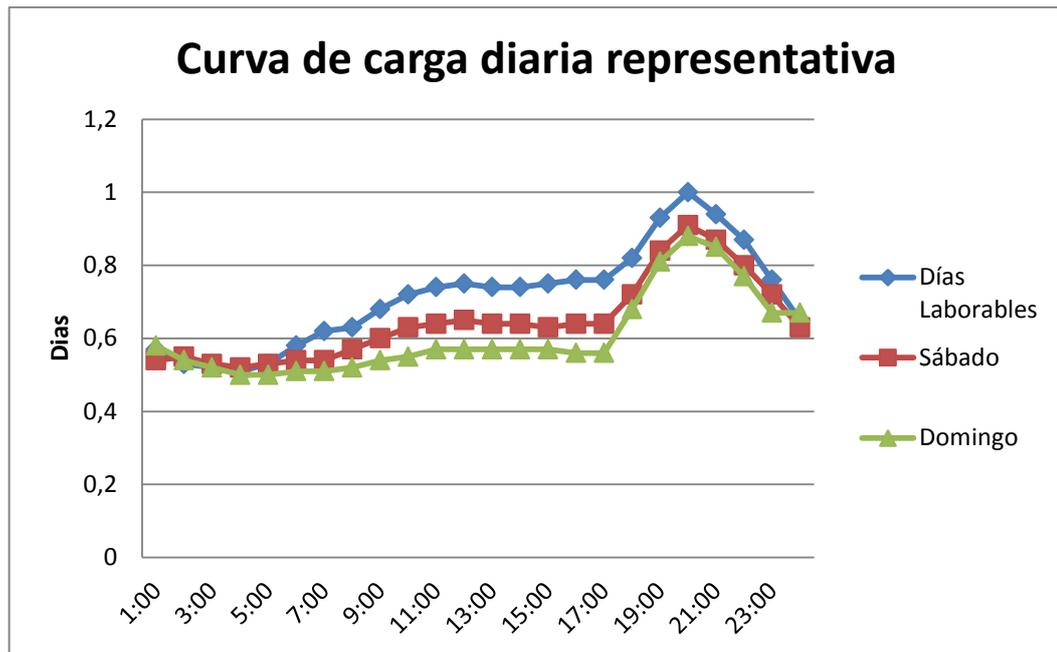


Figura 3. 24 Curva de Carga Diaria Representativa.

(CONELEC, PLAN MAESTRO DE ELECTRIFICACIÓN DEL ECUADOR 2009 -2020 CAPITULO 5, pág. 175)

3.14 Análisis de Costo Beneficio con Fuente de Energías Alternativas Como es la Solar de (C.C.) para Cargar un Banco de Baterías para un Vehículo Eléctrico.

El beneficio es más tangible a partir que se instale un sistema de energía solar en un vehículo eléctrico, se empezará a pagar menos en las planillas de luz. Ahorrando hasta en un 65% o incluso más.

Es una inversión inteligente, en energía solar no se paga impuestos y que el rendimiento aumenta en valor a la velocidad de la inflación. Evidentemente la captación de la radiación solar no tiene costo alguno.

Conclusiones.

- El presente proyecto permitió el diseño y la construcción de un sistema eficiente de alimentación solar con un rendimiento del 13 % mediante acumuladores de energía para un vehículo eléctrico, utilizando una fuente de energía alternativa.
- Las baterías de plomo ácido utilizadas en el sistema fotovoltaico del vehículo eléctrico solar, proporcionan baja autonomía ya que la profundidad de descarga de las mismas tienden hasta un 50% que es un valor recomendable.
- Obteniéndose las gráficas de barras y dispersión del comportamiento en el sistema fotovoltaico general, se puede observar claramente que durante cuatro horas en el día, desde las 10:00 hasta las 14:00 entregan su máxima potencia los paneles solares, siendo este suficiente para cargar el banco de baterías y movilizar satisfactoriamente el vehículo eléctrico durante dos horas aproximadamente.
- Realizado el estudio y diseño técnico del proyecto se concluye que no es factible, debido a que se tiene un espacio limitado en el vehículo eléctrico con un área de $2,73 \text{ m}^2$. En la actualidad se tiene instalado cuatro paneles fotovoltaicos en serie de 85 Vatios cada uno con una corriente de 4,67 Amperios, los mismos que no cubren con la demanda del motor de dos HP de corriente continua ya que este consume una corriente nominal de 31,1 Amperios.
- Los costos para el montaje del sistema fotovoltaico en el vehículo eléctrico, se proyecta siete veces más del costo actual. Resultando este no factible para la construcción, ya que económicamente saldría por un costo aproximado de \$ 8400 en el sistema fotovoltaico sin considerar el gasto de la parte complementaria del proyecto.

Recomendaciones.

- Técnicamente se recomienda diseñar un sistema de carga por corriente alterna (C.A.) de mayor potencia, a nivel de 220V y un amplificador operacional para elevar la corriente en el cargador de baterías, de esta manera reducir el tiempo de carga en el banco de baterías.
- Para mejorar el peso y la aerodinámica del vehículo eléctrico, se recomienda usar materiales livianos y resistentes como el aluminio, para evitar una sobre carga de peso en el vehículo; previo a un análisis de costos.
- Para una posible manera de incrementar la capacidad de generación del sistema fotovoltaico, se recomienda implementar un “estacionamiento solar”, para así tener una mayor área de colección y tener en stock un banco de baterías extra con carga completa para cuando el vehículo lo requiera.
- Se recomienda que para cargar el banco de baterías con una capacidad de (65 Ah), es necesario que el vehículo se parquee en una zona libre de edificaciones y arbustos, para aprovechar el área total de los paneles solares y reciba una radiación de cuatro horas de sol pico estándar, y así evitar posibles pérdidas por efectos sombra.
- Para mejorar la autonomía del vehículo eléctrico se recomienda instalar un banco de baterías de carga profunda, considerando el espacio limitado que existe bajo el asiento del conductor. También se debe considerar una batería de 12 voltios extra para los sistemas auxiliares de control e iluminación.

- Es necesario observar el nivel de carga en la pantalla del controlador de carga solar conjuntamente con el circuito de led's dispuesta en el tablero frontal para evitar paradas imprevistas del vehículo eléctrico.
- Se recomienda llevar una programación preventiva de mantenimiento semestralmente para evitar que se deterioren los sistemas mecánicos y eléctricos.

Glosario

A

AMORFAS. Son celdas fotovoltaicas que normalmente se utilizan en pequeños paneles Solares

B

BATERÍAS DE PLOMO – ÁCIDO. Estas batería cuenta con voltaje elevado, mayor de 2V.

BATERÍAS DE TRACCIÓN. Son diseñadas para operar con ciclos de descarga profunda

BATERÍAS ESTACIONARIAS. Estas baterías tienen una construcción con planchas blindadas ("tubulares") y cuestan 3-6 veces más que las baterías de arranque común.

C

CARGA PROFUNDA. Esto se refiere a las baterías que tienen una gran capacidad de acumular energía.

CELDAS FOTOVOLTAICAS. Convierten la energía del sol directamente en electricidad.

CÉLULAS FOTOVOLTAICAS. Que convierten la luz solar en electricidad.

CAPTACIÓN DE RADIACIÓN. Esto se refiere cuando podemos captar la radiación solar con eficiencia.

D

DISELENIDE. Son tipos de materiales fotovoltaicos que tienen potencial comercial y son compuesto químico.

E

ELECTROQUÍMICA. Es una rama de la química que estudia la transformación entre la energía eléctrica y la energía química.

ELECTRODOS Y EL ELECTROLITO. Estos generan electricidad en corriente continua en la Baterías.

ENERGÍA TOTAL. Indica la cantidad total de energía eléctrica que es capaz de acumular la batería.

F

FOTOVOLTAICAS. Proviene del griego PHOS, que significa luz, y voltaico por lo que proviene del campo de la electricidad.

H

HELIÓGRAFO. Este instrumento para registrar las horas de sol, cuando la radiación alcanza nivel crítico

I

IRRADIACIÓN SOLAR.

N

NUBOSIDAD. Cuando tenemos el Cielo nublado y no podemos aprovechar de la radiación solar

M

MOVILIDAD SOSTENIBLE. Es un concepto nacido de la preocupación por los problemas medioambientales, referente al medio de transporte.

MPPT. Es un seguidor del punto máximo de Potencia.

MONOCRISTALINAS. Cuando se requiere de un silicio de mayor pureza y eficiencia eléctrica.

P

POLICRISTALINAS. Es el silicio está conformado por pequeños cristales de una enorme pureza.

PWM. Es un regulador de modulación por ancho de pulsos.

PIRANÓMETRO O PIRANÓGRAFO. Es un instrumento que se usa para medir radiación.

PERNOCTAR. Pasar la noche en algún lugar fuera de la vivienda habitual, en especial cuando se viaja.

PLACAS SOLARES. Las placas solares constan de cientos de células fotovoltaicas que convierten la luz solar en electricidad.

PROFUNDIDAD DE DESCARGA. Indica el límite máximo de la batería que se puede descargar.

R

REDOX. Es un proceso cuyos componentes que no resulten consumidos no se pierden, sino que solamente cambian su estado de oxidación.

RENDIMIENTO. Es la relación porcentual entre la energía eléctrica recibida en el proceso de carga y la que el acumulador entrega durante la descarga.

S

SEMICONDUCTOR. Es un elemento que se comporta como un conductor o como un aislante dependiendo de diversos factores, como por ejemplo el campo eléctrico o magnético

Bibliografía

B.E., STUART BOWDEN. (1996). STUART BOWDEN B.E., A High Efficiency Photovoltaic Roof Tile, Centre for Photovoltaic Devices and Systems University of New South. Australia.

Brusa, C. Fröhlich y R. (1981). Solar Radiation and its Variation in Time.

CONELEC, PLAN MAESTRO DE ELECTRIFICACIÓN DEL ECUADOR 2009 -2020 CAPITULO 5. (s.f.). PLAN MAESTRO DE ELECTRIFICACIÓN.

Consultor Canadiense en Sistemas Fotovoltaicos Ing. Ian Kennedy. (s.f.).

Decreto Ejecutivo N° 3970. (1996). Norma Ecuatoriana de Construcción NEC-10 Parte 14-1 Energía Renovable. Comité Ejecutivo del Código.

E. Bianchi Elementos de Electroquímica. (2010). Electrólisis y Acumuladores Reversibles. Chile.

fotovoltaica, energía solar. (s.f.).
<http://energiasolarfotovoltaica.blogspot.com/2006/01/el-regulador-de-carga.html>.

Fuente: Autores. (s.f.).

Green Empowerment - Internacional Technology Development Corp. (2005). Manual de capacitación de Sistemas Fotovoltaicos. Cajamarca - Perú.

H. Rodríguez y F. González. (1992). Manual de Radiación Solar en Colombia Vol. 1. Bogotá.

http://api.eoi.es/api_v1_dev.php/fedora/asset/eoi:45315/componente45313.pdf.

(s.f.).

http://api.eoi.es/api_v1_dev.php/fedora/asset/eoi:45315/componente45313.pdf. Recuperado el 20 de MAYO de 2014, de http://api.eoi.es/api_v1_dev.php/fedora/asset/eoi:45315/componente45313.pdf.

<http://autosolar.es/blog/tecnica/item/337-que-es-un-regulador-pwm>. (s.f.).

<http://autosolar.es/blog/tecnica/item/337-que-es-un-regulador-pwm>. Recuperado el 21 de mayo de 2014, de <http://autosolar.es/blog/tecnica/item/337-que-es-un-regulador-pwm>.

<http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/2239/1/CD-2536.pdf>. (s.f.).

Recuperado el Junio de 2013, de <http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/2239/1/CD-2536.pdf>

<http://energiasolarfotovoltaica.blogspot.com/2006/01/el-regulador-de-carga.html>.

(s.f.). <http://energiasolarfotovoltaica.blogspot.com/2006/01/el-regulador-de-carga.html>. Recuperado el Enero de 2014, de <http://energiasolarfotovoltaica.blogspot.com/2006/01/el-regulador-de-carga.html>

<http://es.wikipedia.org/wiki/Amperio-hora>. (s.f.).

<http://es.wikipedia.org/wiki/Amperio-hora>.

http://es.wikipedia.org/wiki/Panel_fotovoltaico. (s.f.).

http://es.wikipedia.org/wiki/Panel_fotovoltaico. Recuperado el 20 de mayo de 2014, de http://es.wikipedia.org/wiki/Panel_fotovoltaico.

<http://fc.uni.edu.pe/mhorn/baterias.html>. (s.f.).

<http://fc.uni.edu.pe/mhorn/baterias.html>. Recuperado el 21 de MAYO de 2014, de <http://fc.uni.edu.pe/mhorn/baterias.html>.

<http://ocw.unia.es/ciencias-tecnologicas/caracterizacion-y-evaluacion-de-la-radiacion-solar/tema-5>. (s.f.). Recuperado el Junio de 2013, de <http://ocw.unia.es/ciencias-tecnologicas/caracterizacion-y-evaluacion-de-la-radiacion-solar/tema-5>

<http://technologysolar.blogspot.com/2009/10/calculo-del-banco-de-baterias.html>. (s.f.). <http://technologysolar.blogspot.com/2009/10/calculo-del-banco-de-baterias.html>.

http://www.aemet.es/documentos/es/eltiempo/observacion/radiacion/Radiacion_Solar.pdf. (s.f.). Recuperado el Junio de 2013, de http://www.aemet.es/documentos/es/eltiempo/observacion/radiacion/Radiacion_Solar.pdf

<http://www.comunidadelectronicos.com/articulos/transformadores.htm>. (s.f.). <http://www.comunidadelectronicos.com/articulos/transformadores.htm>.
Obtenido de <http://www.comunidadelectronicos.com/articulos/transformadores.htm>.

http://www.conelec.gob.ec/images/documentos/doc_10094_CARGOS%202012.pdf. (s.f.). http://www.conelec.gob.ec/images/documentos/doc_10094_CARGOS%202012.pdf.

http://www.corpoema.com/CDenergia/FV_Anexo2.PDF. (s.f.). http://www.corpoema.com/CDenergia/FV_Anexo2.PDF.

http://www.corpoema.com/CDenergia/FV_Anexo2.PDF. (s.f.). http://www.corpoema.com/CDenergia/FV_Anexo2.PDF. Recuperado el Junio de 2013, de http://www.corpoema.com/CDenergia/FV_Anexo2.PDF

http://www.corpoema.com/CDenergia/FV_Capi2.PDF. (s.f).
http://www.corpoema.com/CDenergia/FV_Capi2.PDF. Recuperado el
Junio de 2013, de http://www.corpoema.com/CDenergia/FV_Capi2.PDF

<http://www.electronicafacil.net/tutoriales/Valores-normalizados-cables-AWG.php#8327>. (s.f.). <http://www.electronicafacil.net/tutoriales/Valores-normalizados-cables-AWG.php#8327>.

http://www.inamhi.gob.ec/mapas/3%20Irradiacion%20global_A0.pdf. (s.f).
Recuperado el Junio de 2013, de
http://www.inamhi.gob.ec/mapas/3%20Irradiacion%20global_A0.pdf

<http://www.sensstech.com/como-determinar-el-tamano-de-un-banco-de-baterias/>.
(s.f.). <http://www.sensstech.com/como-determinar-el-tamano-de-un-banco-de-baterias/>.

<http://www.sfe-solar.com/calculo-sistemas-fotovoltaicos-aislados-autonomos/>.
(s.f.). <http://www.sfe-solar.com/calculo-sistemas-fotovoltaicos-aislados-autonomos/>. Recuperado el 22 de mayo de 2014, de <http://www.sfe-solar.com/calculo-sistemas-fotovoltaicos-aislados-autonomos/>.

http://www.solartronic.com/Energia_Solar/Sistemas_Fotovoltaicos/Curso_Breve/4_Curvas_Caracteristicas/. (s.f).
http://www.solartronic.com/Energia_Solar/Sistemas_Fotovoltaicos/Curso_Breve/4_Curvas_Caracteristicas/. Recuperado el 20 de mayo de 2014, de
http://www.solartronic.com/Energia_Solar/Sistemas_Fotovoltaicos/Curso_Breve/4_Curvas_Caracteristicas/.

<http://www.solarweb.net/forosolar/fotovoltaica-sistemas-aislados-la-red/27128-tipos-conexion-baterias-bancos.html>. (20 de Noviembre de 2010).
<http://www.solarweb.net/forosolar/fotovoltaica-sistemas-aislados-la-red/27128-tipos-conexion-baterias-bancos.html>. Recuperado el Febrero de

2014, de <http://www.solarweb.net/forosolar/fotovoltaica-sistemas-aislados-la-red/27128-tipos-conexion-baterias-bancos.html>.

<http://www.taringa.net/posts/info/14154065/Formula-sobre-el-Tiempo-de-Carga-de-la-Bateria.html>. (s.f.).

<http://www.taringa.net/posts/info/14154065/Formula-sobre-el-Tiempo-de-Carga-de-la-Bateria.html>.

<http://www.textoscientificos.com/energia/celulas>. (s.f.).

<http://www.textoscientificos.com/energia/celulas>. Recuperado el 20 de MAYO de 2014, de <http://www.textoscientificos.com/energia/celulas>.

<http://www.webosolar.com/foro/controlador-carga-mppt-punto-maxima-potencia/>.

(s.f.). <http://www.webosolar.com/foro/controlador-carga-mppt-punto-maxima-potencia/>. Recuperado el 21 de mayo de 2014, de <http://www.webosolar.com/foro/controlador-carga-mppt-punto-maxima-potencia/>.

J. L. Larminie. (2003). *Electric Vehicle Technology Explained*. John Wiley & Sons, Ltda.

J.J. Loferski, *Recent Research on Photovoltaic Solar Energy*. (1963).

K. Morrow, D. Karner, and J. Francfort. (2008). *Plug -in Hybrid Electric Vehicle Charging Infrastructure Review*. USA.

M. Iqbal. (1983). *An Introduction to Solar Radiation*. Toronto: Academic Press.

Miguel Alonso Abella, *Era Solar*. (s.f.). *Sistemas Fotovoltaicos*.

Mohan, Underland y Robbins. (1995). *Power Electronics*. New York: John Wiley & Sons 2ª Edición.

Norma Ecuatoriana de Construcción NEC-10 PARTE 14-1 Tabla A2 ENERGÍA RENOVABLE. (s.f.).

Rationelle Energiewandlung - Institut für Elektrische Energietechnik. (s.f.).
Rationelle Energiewandlung - Institut für Elektrische Energietechnik.

Reichel, Roland. (s.f.). Why solar powered mobility, Bundesverband Solarmobil e.V.(German Solar Car Federation).

Robert Boylestad - Louis Nashelsky. (1994). Electronica Teoria de Circuitos. Mexico: PRENTICE - HALL HISPANOAMERICANA S.A.

SIMEC CHILE SRL. (2013). Recuperado el MAYO de 2014

V. Castañeda. (2005). Auto reciclado con tracción eléctrica . Chile.

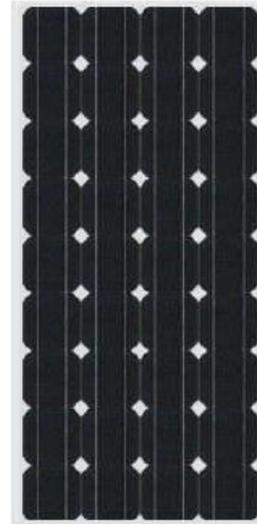
Anexos.

Anexo N° 1



TYN-85S5

High Quality
Mono-Crystalline
Photovoltaic Module



Feature

1. Bypass diode minimizes the power drop by shade.
2. The conversion efficiency of solar cell is above 15.9%.
3. White tempered glass, EVA resin, weather proof film and anodized aluminum frame to provide efficient protection from the severest environmental conditions.
4. Waterproof (UL94, V-O). Perfect for grid applications.

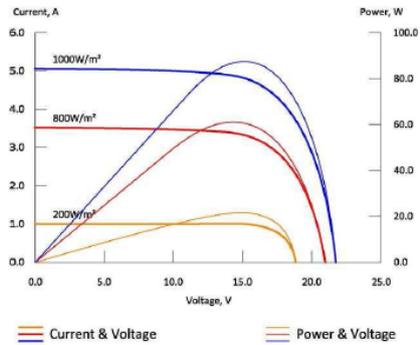
SPECIFICATION

Type Of Module	TYN-85S5
Maximum Power [W]	85
Tolerance [%]	Plus
Open circuit Voltage [V]	21.96
Short circuit Current [A]	5.06
Maximum Power Voltage [V]	18.22
Maximum Power Current [A]	4.67
Module Efficiency [%]	12.77
Solar Cell Efficiency [%]	15.9
Series Fuse Rating [A]	12
Terminal Box	IP65
Maximum System Voltage [V]	DC1000
Operating Temperature [°C]	-40 to 85

Anexo N° 2

Electrical Characteristics

Current-Voltage & Power-Voltage characteristics various irradiance levels



Electric Performance Typical Performance Characteristics		
Short Circuit Current Temperature Coefficient	mA/°C	+2.5
Open Circuit Voltage Temperature Coefficient	V/°C	-0.0735
Maximum Power Temperature Coefficient	%/°C	-0.4
Performance Warranty :		
90%output, 12 Years		
80%output, 25 Years		

Quality Assurance

1. Electrical insulation test.
2. Outdoor exposure test.
3. Hot-spot endurance test.
4. UV-exposure.
5. Thermal cycling test.
6. Humidity freeze test
7. Damp heat test.
8. Robustness of terminations test.
9. Wet leakage current test.
10. Mechanical load test.
11. Hail impact test.
12. Bypass diode thermal test.

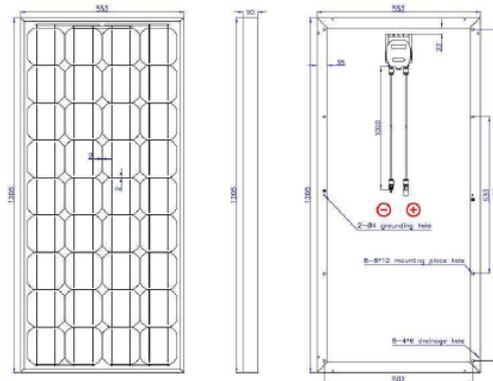
Physical Specifications

Dimension :

Length :
1206 mm / 47.48 in
Width :
552 mm / 21.73 in
Depth :
50 mm / 1.97 in
Weight :
8 kg / pcs
Packing :
10 pcs / carton

Loading Capacity :

320 pcs / 20ft container
720 pcs / 40ft container



Tynsolar Corporation

No. 620, Sec. 6, Jhonghua Rd., Sianghan District, Hsinchu City 300, Taiwan R.O.C.

Website: <http://www.tynsolar.com.tw>

Tel : 886-35-181686

Fax: 886-35-181196

Anexo N° 3

Conductores Esmaltados para Bobinados Normalizados						
Número AWG	Diámetro (mm)	Sección (mm ²)	Número espiras por cm	Kg. por Km	Resistencia (Ω/Km.)	Capacidad (A)
0000	11,86	107,2			0,158	319
000	10,4	85,3			0,197	240
00	9,226	67,43			0,252	190
0	8,252	53,48			0,317	150
1	7,348	42,41		375	1,4	120
2	6,544	33,63		295	1,5	96
3	5,827	26,67		237	1,63	78
4	5,189	21,15		188	0,8	60
5	4,621	16,77		149	1,01	48
6	4,115	13,3		118	1,27	38
7	3,665	10,55		94	1,7	30
8	3,264	8,36		74	2,03	24
9	2,906	6,63		58,9	2,56	19
10	2,588	5,26		46,8	3,23	15
11	2,305	4,17		32,1	4,07	12
12	2,053	3,31		29,4	5,13	9,5
13	1,828	2,63		23,3	6,49	7,5
14	1,628	2,08	5,6	18,5	8,17	6
15	1,45	1,65	6,4	14,7	10,3	4,8
16	1,291	1,31	7,2	11,6	12,9	3,7
17	1,15	1,04	8,4	9,26	16,34	3,2
18	1,024	0,82	9,2	7,3	20,73	2,5
19	0,912	0,65	10,2	5,79	26,15	2
20	0,812	0,52	11,6	4,61	32,69	1,6
21	0,723	0,41	12,8	3,64	41,46	1,2
22	0,644	0,33	14,4	2,89	51,5	0,92
23	0,573	0,26	16	2,29	56,4	0,73
24	0,511	0,2	18	1,82	85	0,58
25	0,455	0,16	20	1,44	106,2	0,46
26	0,405	0,13	22,8	1,14	130,7	0,37
27	0,361	0,1	25,6	0,91	170	0,29
28	0,321	0,08	28,4	0,72	212,5	0,23
29	0,286	0,064	32,4	0,57	265,6	0,18
30	0,255	0,051	35,6	0,45	333,3	0,15
31	0,227	0,04	39,8	0,36	425	0,11
32	0,202	0,032	44,5	0,28	531,2	0,09
33	0,18	0,0254	56	0,23	669,3	0,072
34	0,16	0,0201	56	0,18	845,8	0,057
35	0,143	0,0159	62,3	0,14	1069	0,045
36	0,127	0,0127	69	0,1	1338	0,036
37	0,113	0,01	78	0,09	1700	0,028
38	0,101	0,0079	82,3	0,07	2152	0,022
39	0,09	0,0063	97,5	0,06	2696	0,017
40	0,08	0,005	111	0,04	3400	0,014
41	0,071	0,004	126,8	0,04	4250	0,011
42	0,063	0,0032	138,9	0,03	5312	0,009
43	0,056	0,0025	156,4	0,02	6800	0,007
44	0,05	0,002	169,7	0,02	8500	0,005

