

# Diseño de tres sistemas fotovoltaicos para la Facultad de Ingeniería Electrónica y Eléctrica-UMMSM

Design of three photovoltaic systems for the Electronic and Electrical Engineering Faculty - UNMSM

Víctor M. Cruz Ornetta<sup>1</sup>, Teresa E. Núñez Zuñiga<sup>2</sup>

*Facultad de Ingeniería Electrónica y Eléctrica, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima, Perú*

**Resumen**— El objetivo de este estudio fue presentar las características generales de los componentes de un sistema de energía solar fotovoltaica, los criterios básicos de diseño y los cálculos para la implementación de tres sistemas para la Facultad de Ingeniería Electrónica y Eléctrica de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Para ello se ha recolectado información de diversos documentos bibliográficos, se ha coordinado con los proveedores de sistemas fotovoltaicos, se han definido los criterios básicos del diseño, se ha preparado una hoja de cálculo y se ha realizado los cálculos para tres tipos de sistemas las mismas que han sido instalados y puesto en operación. Como conclusión a la fecha la FIEE-UNMSM cuenta con un Laboratorio de Energía Solar Básico que puede ser utilizado para realizar actividades académicas de formación profesional, investigación y prestación de servicios.

**Abstract**— The objective of this study was to present the general characteristics of the components of a photovoltaic solar energy system, the basic criteria for designing it and the computations in order to implement 03 systems that are currently working at the FIEE - UNMSM installations. In order to carry out this task it was collected several bibliographic references and we conducted coordination with solar photovoltaic systems providers, it was defined the basic criteria for system design, it was prepared a computation sheet, and they were performed the computation for three types of systems which were installed and put into operation. As a conclusion currently the FIEE-UNMSM has a basic Solar Energy Laboratory which could be used in order to train students, to perform research and to provide services.

**Palabras clave** – Energía solar, energía fotovoltaica, sistemas fotovoltaicos, diseño de sistemas fotovoltaicos.

**Key words** – Solar energy, photovoltaic energy, photovoltaic systems, photovoltaic system design.

## I. INTRODUCCIÓN

La energía solar fotovoltaica es una energía renovable muy importante para la provisión de energía en áreas geográficas de difícil acceso y que no cuentan con energía eléctrica comercial. Debido a la disminución experimentada en los costos de los sistemas de energía fotovoltaicos en los últimos años, estos sistemas se han hecho más accesibles y son una alternativa de solución para muchos lugares con carencias de energía.

Dentro de este marco el objetivo de este documento es presentar las características generales de los sistemas fotovoltaicos y los resultados del dimensionamiento de los mismos aplicados al diseño de sistemas fotovoltaicos para el laboratorio de energía solar de la FIEE.

## II. ANTECEDENTES

Los sistemas de energía solar fotovoltaica en nuestro país vienen siendo utilizados desde los años 70 inicialmente como parte de los sistemas de telecomunicaciones y luego dentro de las redes de televisión. En los años 80 se comienzan a instalar sistemas domiciliarios para zonas rurales en el departamento de Puno por parte del Proyecto CER-UNI, luego en los 90, el Ministerio de Energía y Minas (MEM) ha instalado entre 1995 y 1998 un total de 1500 SFD en diferentes regiones del Perú [1], mayormente en comunidades de la selva continuando hasta la fecha [2]. Posteriormente el proyecto ILZRO RAPS PERÚ (IRP) ha implementado dos sistemas de Suministro de Energía Eléctrica para Áreas Remotas

<sup>1</sup> Víctor M. Cruz Ornetta, vcruzor@gmail.com

<sup>2</sup> Teresa E. Núñez Zuñiga, nunezuniga22@yahoo.es

Recibido: Abril 2014 / Aceptado: Junio 2014

(RAPS - *Remote Area Power Supply*) para proporcionar energía eléctrica a comunidades no conectadas al sistema interconectado de energía eléctrica, durante las 24 horas del día. En el Perú, los sistemas RAPS producen 300 Kwh al día en Padre Cocha y 600 Kwh al día en Indiana incluyendo dos arreglos fotovoltaicos de 15 Kw cada uno en Padre Cocha y cuatro en Indiana. Estos módulos se acoplan a un generador diesel de 100 Kw en Padre Cocha y a uno de 200 Kw en Indiana [3]

Actualmente como una evolución natural de este desarrollo se han implementado dos centrales fotovoltaicas en las regiones Tacna y Moquegua con una inversión aproximada de S/.500 millones de nuevos soles. La primera de las plantas se ubica en la provincia de Tacna, en el Alto de la Alianza cuya implementación corresponde a la concesión otorgada a la empresa Tacna Solar 20 TS SAC con una inversión de S/. 250 millones cubriendo una superficie de 121 hectáreas y se estima que su producción anual de energía será de 47,196 Mwh. La segunda planta se ubica en el kilómetro 1190 de la Panamericana Sur, en la provincia de Mariscal Nieto, región Moquegua en cumplimiento de la concesión otorgada a la empresa Panamericana Solar 20 TS SAC con una inversión de S/. 250 millones, cubre una superficie de 123 hectáreas y producción anual estimada de 50,676 Mwh [4].

### III. METODOLOGÍA DE IMPLEMENTACIÓN

#### A. Marco Teórico

Un sistema de energía solar fotovoltaico básicamente está conformado por un Arreglo de módulos fotovoltaicos, un banco de baterías y una unidad de control. El banco de baterías es necesario dado que las características de la carga generalmente no coinciden con las características de la generación del arreglo fotovoltaico. En la Fig. 1 se muestra de manera esquemática el sistema fotovoltaico básico.

Los parámetros básicos del subsistema son:

- **Potencia de salida:** Básicamente determinado por la potencia de salida del arreglo.
- **Autonomía:** que es la cantidad de días que el subsistema puede operar, satisfaciendo las necesidades de la carga sin que exista un nivel medible de insolación y después de los cuales las baterías conservarán una carga mínima, igual a un porcentaje de la carga total, predeterminada de acuerdo a las características de las baterías.

#### B. El arreglo fotovoltaico

El módulo fotovoltaico es el elemento básico del arreglo fotovoltaico y está constituido por un conjunto

de celdas fotovoltaicas, las cuales principalmente pueden ser de silicio monocristalino y policristalino.

La célula solar fotovoltaica se deriva de una barra cristalina de silicio dopado con boro que se corta en discos de un espesor aproximado de 0.3 mm., y luego dopados fuertemente en una de sus caras con fósforo mediante difusión a alta temperatura, desde una atmósfera gaseosa rica en fósforo, de manera que el elemento penetre en el silicio con mayor concentración que la del boro dado que este contenía hasta una profundidad de 0.3 micras aproximadamente [3]. Encima de esta capa se deposita una rejilla metálica y en la parte posterior de la célula una capa continua.

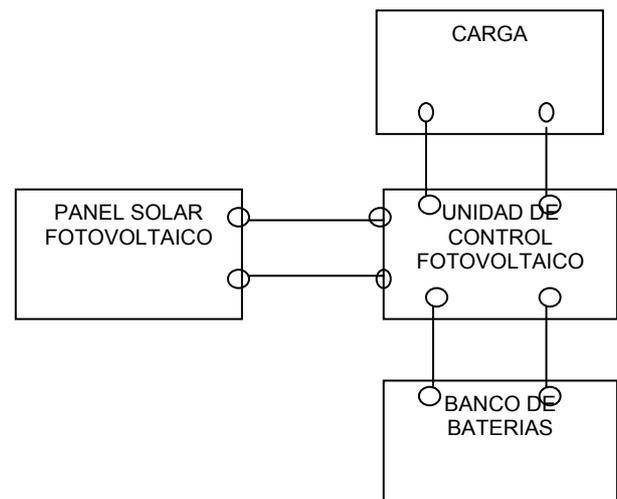


Fig. 1 Sistema solar fotovoltaico.

Ambas capas sirven para facilitar la toma de contactos eléctricos en ambas regiones.

Las células se interconectan mediante conexiones dobles de cobre de acuerdo a la corriente y voltaje que se necesitan.

Una vez interconectadas, todas las células que constituyen el módulo se encapsulan mediante película de goma de silicona o de butiral de polivinilo en un sándwich de vidrio o entre una lámina de vidrio y una capa posterior de goma de silicona, Tediard u otros productos similares.

La lámina de vidrio deberá permitir el paso de la luz solar a las células y será realizado a partir de vidrio templado con bajo contenido de hierro y pequeño coeficiente de reflexión.

Los terminales de conectividad deberán alojarse en una caja de conexión en cuyo interior estén situados los terminales de conexión y donde puede alojarse el diodo de bloqueo. Esta caja debe ser hermética.

El sándwich de vidrio y silicona, que contiene el conjunto de células solares integrantes del módulo, se alojará en un marco metálico que podrá ser de acero inoxidable o de aluminio.

El marco que tiene por finalidad dar rigidez y solidez mecánica al módulo y facilitar su sujeción a la estructura que lo soporta, deberá poseer la configuración adecuada para que su unión con el sándwich sea elástica [5].

Las juntas de estas uniones se sellarán adecuadamente con silicona o algún producto similar.

La Fig. 2 muestra la versión comercial de un módulo de silicio monocristalino.

La radiación solar es policromática presentando una distribución espectral bastante amplia. En la superficie de la tierra (Espectro AM1), se extiende aproximadamente desde el ultravioleta (3.500Å) hasta el infrarrojo próximo (2  $\mu$ m). La suma de las potencias correspondientes a cada una de esas frecuencias es lo que llamamos potencia solar incidente pero no todas las frecuencias son aprovechables por un determinado material fotovoltaico, ya que este se vuelve transparente a partir de una determinada longitud de onda.

La eficiencia de conversión media obtenida por las células disponibles comercialmente alcanzan alrededor del 11-12% en el caso del silicio policristalino y 14-19% para las células de silicio monocristalino [6][7][8][9].



Fig. 2. Módulo solar fotovoltaico de silicio monocristalino.

### C. El banco de baterías

Está constituido por un conjunto de baterías las cuales a su vez están constituidas por un conjunto de acumuladores eléctricos [10].

El acumulador eléctrico, es un conjunto de dos generadores electroquímicos con una solución común, que recupera las sustancias originales de sus electrodos, que fueron consumidas en la alimentación de energía eléctrica.

El acumulador es, por lo tanto, una célula electroquímica reversible capaz de alimentar energía eléctrica, liberada por reacciones químicas, a un circuito externo y acumular cargas eléctricas por el

proceso de recomposición de las sustancias componentes de sus electrodos, causada por una corriente eléctrica aplicada entre ellos.

Las baterías de acumuladores o simplemente “batería” son utilizados para definir en el lenguaje técnico la asociación en serie de varios acumuladores eléctricos.

Para configurar una batería de acumuladores para aplicaciones fotovoltaicas, se utilizan los mismos parámetros definidos para caracterizar el comportamiento eléctrico de los acumuladores, considerándose que el análisis ahora debe ser hecho, no para un acumulador aislado, sino, para una asociación de acumuladores en serie. De esta forma se definen los siguientes parámetros para las baterías: capacidad de corriente, tiempo de descarga, voltaje final de descarga, voltaje final de carga, voltaje de gasificación.

Las baterías solares a diferencia de las baterías de los automotores se caracterizan por la mayor **profundidad de descarga (PD)** y un alto valor para el ciclaje. La batería solar permite una PD máxima del 80 % ciento de veces a niveles de corrientes moderados por lo que se les conoce como **baterías de ciclo profundo (BCP)**

En la Fig. 3 se muestra una batería comercial de aplicación fotovoltaica.



Fig. 3 Baterías de aplicación solar fotovoltaica.

### 1. Capacidad

La capacidad de la batería es la cantidad de carga en Ah que es capaz de alimentar en régimen de descarga, permaneciendo la variación de su fuerza electromotriz (f.e.m.) dentro de límites especificados.

Para cada tipo de batería su capacidad depende del régimen de descarga, esto es, dependiendo del valor de la corriente, de la temperatura y de la densidad del electrolito, en función del grado de ionización. La capacidad es proporcionada por el fabricante bajo la forma de tablas, con valores referidos a la temperatura de 25°C y normalizados para cada régimen de

descarga. La indicación de la capacidad de los acumuladores en Ah es denominada capacidad nominal, o sea es la máxima cantidad de carga que puede ser extraída del acumulador. Generalmente para cada tipo de acumulador, el fabricante provee la capacidad nominal y las diversas corrientes de régimen de descarga para un valor de voltaje, con los respectivos tiempos de descarga.

Para evitar que el acumulador sufra averías por corrientes elevadas, el fabricante estipula su tiempo mínimo de descarga.

### 2. Tiempo de descarga

El tiempo de descarga representa el periodo dado por el fabricante para que el acumulador alcance una voltaje final de descarga en un determinado régimen de descarga de corriente.

### 3. Voltaje final de descarga

El voltaje final de descarga define el valor límite del voltaje del acumulador, permitida durante la alimentación de corriente al circuito externo, que garantiza la reversibilidad del proceso del acumulador.

Esta particularidad es exigida por los fabricantes, debido a las modificaciones estructurales que ocurren en las sustancias de los electrodos, imposibilitando su recomposición durante el proceso de electrolisis, cuando el voltaje se reduce demasiado.

### 4. Voltaje final de carga

El voltaje final de carga, representa el valor máximo del voltaje alcanzado en los terminales del elemento cuando recibe energía CC, en el proceso de carga, para readquirir su capacidad total, pérdida por descarga. Esta voltaje es típica para cada tipo de batería.

### 5. Voltaje de gasificación

En el proceso de carga de la batería, a partir del instante en que la corriente pasa de su valor máximo hasta el instante en que ella se vuelve a estabilizar, la formación de gases en el interior del electrolito alcanza su valor máximo. El voltaje en ese instante es un valor bien característico, típico para cada acumulador, denominado voltaje de gasificación.

Estos gases, normalmente son una mezcla de hidrógeno y oxígeno, son resultantes principalmente de la electrólisis del agua del electrolito y las cantidades formadas dependen de la intensidad de la corriente de carga utilizada.

Por ser una mezcla altamente explosiva, una de las precauciones, que debe ser tomada durante la carga de la batería es la provisión de conductos que permitan la

evacuación de dichos gases del compartimiento donde están instaladas las baterías. Esto requiere de un sistema de ventilación adecuado, pudiendo ser natural o mecánico con auxilio de extractores de aire.

Otra precaución es evitar que estos gases lleguen hasta los equipos de la instalación, principalmente en los casos de las baterías ácidas, debido al peligro de corrosión.

### D. Unidad de Control

Es la encargada de proveer un régimen de carga eficiente y efectivo para las baterías y tendrá como funciones básicas:

- Evitar la sobrecarga de la batería.
- Evitar la descarga excesiva. Reducirá la pérdida del electrolito.

Estas funciones básicas extenderán la vida de las baterías y minimizarán su mantenimiento.

Para poder cumplir con este objetivo las unidades de control fotovoltaicas deberán tener entre otras características:

- Voltajes regulados por compensación de temperatura.
- Protección contra inducción electrostática.
- Diodo de protección por bloqueo.
- Protección contra inversión de polaridad.
- Protección contra sobrecarga.

En la Fig. 4 se muestra una unidad de control comercial típica.

### E. Dimensionado del Sistema Fotovoltaico

#### 1. Determinación de las características de la carga

El primer paso para diseñar un sistema solar fotovoltaico consiste en definir las principales características de los elementos que constituyen la carga en cuanto a la potencia consumida y al voltaje y régimen de operación.

#### 2. Características climáticas y de ubicación

El siguiente paso consiste en definir el nivel de insolación mensual mínimo o promedio y la ubicación geográfica del sistema que nos permitirá definir hacia donde se va a direccionar y cuál será la inclinación del panel.

#### 3. Determinación de la potencia consumida

Luego se calcula la potencia y la energía total consumida por todas las cargas y su régimen de operación que necesitan ser alimentadas por el sistema fotovoltaico, para ello se calcula el total de los de los

vatios-hora por día considerando todos los electrodomésticos o equipos a ser utilizados [11].



Fig. 4. Unidad de control fotovoltaica

#### 4. Dimensionamiento de los módulos fotovoltaicos

**Cálculo de la potencia del panel:** El total de los vatios hora por día a ser generados por el panel fotovoltaico se divide entre el número de horas pico de sol del peor mes o entre el número de horas pico de sol promedio en el año [12].

**Cálculo de la corriente del panel:** Se divide la potencia del panel entre el voltaje del panel.

**Cálculo del número de módulos en serie:** Se divide el voltaje del panel entre el de voltaje de los módulos.

**Cálculo del número de módulos en paralelo:** Se divide la corriente del panel entre la corriente del módulo.

**Cálculo del número total de módulos:** Se multiplica el número de módulos en serie por el número de módulos en paralelo

El resultado del cálculo realizado es para el mínimo número de módulos requeridos. Si se instalan más módulos, el sistema se comportará mejor y la vida de la batería aumentará. Si se instalan menos módulos el sistema puede no operar durante algunos días nublados y la vida de la batería disminuirá

#### 5. Dimensionamiento de las baterías

El tipo de batería recomendado para aplicación en sistemas solares fotovoltaicos es la batería de ciclo profundo, que es específicamente diseñada para ser descargada hasta un nivel de baja energía y ser rápidamente cargada [11] o cíclicamente cargada y descargada día tras día por años. La batería debería ser lo suficientemente grande para almacenar energía suficiente para operar los electrodomésticos de noche y durante días nublados. Para dimensionar la batería se debe seguir los siguientes pasos:

**Cálculo del total de los de los vatios-hora por día:** considerando todos los electrodomésticos o equipos a ser utilizados.

#### Cálculo del tamaño de la batería:

- *Para considerar los días de autonomía.*  
Dividir el total de vatios-hora por día por 0.85 (para considerar las pérdidas en la batería) para obtener los vatios hora por día que deben ser proporcionados por la batería.  
Dividir el resultado encontrado entre 0.6 para considerar la profundidad de descarga.  
Multiplicar el resultado obtenido por el número de días de autonomía  
 $\text{Capacidad del Banco 1 (Ah)} = \frac{\text{Total de Vatios-hora por día} \times \text{Días de autonomía}}{(0.85 \times 0.6) / \text{Voltaje del Banco}}$

- *Para considerar la descarga diaria máxima.*  
Dividir el total de vatios -hora por día por 0.85 (para considerar las pérdidas en la batería) para obtener los vatios hora por día que deben ser proporcionados por la batería.  
Dividir el resultado encontrado entre 0.15 para considerar la profundidad de descarga diaria.

$\text{Capacidad del Banco 2 (Ah)} = \frac{\text{Total de Vatios-hora por día}}{(0.85 \times 0.15) / \text{Voltaje del Banco}}$

La Capacidad del Banco será la mayor de las capacidades de banco 1 y 2.

**Cálculo del número de baterías en serie:** Se divide el voltaje del banco de baterías entre el de voltaje de la batería.

**Cálculo del número de baterías en paralelo:** Se divide la Capacidad del Banco entre el voltaje del banco y la capacidad de la batería.

**Cálculo del número total de baterías:** Se multiplica el número de baterías en serie por el número de baterías en paralelo.

#### 6. Dimensionamiento de la Unidad de Control

Las especificaciones típicas de un controlador de carga solar son el amperaje y el voltaje. Se debe seleccionar el controlador de tal manera que cumpla con el voltaje del panel fotovoltaico y del arreglo de baterías así como con la capacidad para soportar la corriente del arreglo fotovoltaico.

De acuerdo a la práctica estándar, el dimensionamiento de la capacidad del controlador de carga solar consiste en multiplicar la corriente de cortocircuito (Isc) del arreglo fotovoltaico por 1.3.

#### 7. Hoja de cálculo para el dimensionamiento de sistemas fotovoltaicos.

Tomando en cuenta todos los criterios definidos previamente en esta sección se realizó una hoja de cálculo para automatizar el diseño.

La Tabla I muestra la hoja de cálculo utilizada para dimensionar los sistemas fotovoltaicos para la FIEE.

Las tablas IIA y IIB muestran las dimensiones básicas de los sistemas implementados en la FIEE-UNMSM.

TABLA I

HOJA DE CÁLCULO PARA EL SISTEMA FOTOVOLTAICO TIPO 2

CARACTERÍSTICAS DE LA CARGA									
		voltaje		potencia		horas / día		vatio-hora/día	
2	lámpara fluorescente	12	V	18	W	3	h	108	Whdía <sup>-1</sup>
2	laptop	12	V	70	W	3	h	420	Whdía <sup>-1</sup>
0	ventilador	12	V	60	W	2	h	0	Whdía <sup>-1</sup>
1	impresora	12	V	50	W	1	h	50	Whdía <sup>-1</sup>
	<b>Energía total consumida</b>	12	V					578	Whdía <sup>-1</sup>
CARACTERÍSTICAS CLIMÁTICAS Y UBICACIÓN									
Horas pico de sol								4	h
Latitud								12	°
CARACTERÍSTICAS DEL SISTEMA									
Voltaje								12	V
Autonomía								2	días
ESPECIFICACIONES DEL PANEL FOTOVOLTAICO									
Energía del panel								751.4	Whdía <sup>-1</sup>
Potencia del panel								187.9	W
Voltaje del panel								12	V
Corriente del panel								15.65	A
Inclinación del panel optimizada para captación en invierno								27	°
Voltaje del módulo								12	V
Corriente en cortocircuito del módulo								5.2	A
Corriente nominal del módulo								4.77	A
Módulos en serie								1	
Módulos en paralelo								4	
Total de módulos								4	
ESPECIFICACIONES DEL BANCO DE BATERÍAS									
Capacidad del banco para profundidad de descarga diaria								377.78	Ah
Capacidad del banco para autonomía								188.89	Ah
Capacidad del banco								377.78	Ah
Voltaje del banco								12	V
Capacidad de la batería								99.50	Ah
Voltaje de la batería								12	V
Baterías en paralelo								4	
Baterías en serie								1	
Total de baterías								4	
ESPECIFICACIONES DE LA UNIDAD DE CONTROL									
Potencia de la unidad de control								324.5	W
Capacidad de la unidad de control								27.04	A
Voltaje de la unidad de control								12	V

TABLA II

DIMENSIONES BÁSICAS DE LOS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS IMPLEMENTADOS EN LA FIEE-UNMSM

Sistema Fotovoltaico			
Tipo de sistema	Energía (Whdía <sup>-1</sup> )	Voltaje (V)	Autonomía (días)
1	314.0	12	5
2	751.4	12	5
3	1092	48	5

En las Figs. 4, 5, 6, 7, 8 y 9 se muestran las fotografías de los paneles, las baterías y unidades de control de los sistemas fotovoltaicos tipo 1, 2 y 3 instalados en la Facultad de Ingeniería Electrónica y Eléctrica de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos.



Fig. 5. Panel del sistema fotovoltaico tipo 1.



Fig. 6. Panel del sistema fotovoltaico tipo 2.



**Fig. 7.** Panel del sistema fotovoltaico tipo 3.



**Fig. 9.** Baterías y unidad de control del sistema fotovoltaico tipo 2.



**Fig. 8.** Baterías y unidad de control del sistema fotovoltaico tipo 1.



**Fig. 10** Baterías y unidad de control del sistema fotovoltaico tipo 3.

## REFERENCIAS

- [1] Manfred Horn. “El estado actual del uso de la energía solar en el Perú” [Internet], Perú Económico, Nov. 2006; Los retos energéticos del Perú, pag 10 – 11, [citado 30 julio 2014]. Disponible en: <http://fc.uni.edu.pe/mhorn/Energia%20solar%20en%20Peru%20perueconomico.pdf>
- [2] Ministerio de Energía y Minas, Perú. Electrificación Rural a base de Energía Fotovoltaica en el Perú – Proyecto PER/98/G3-1 Setiembre de 2008 [Internet], [citado 30 oct 2013]. Disponible en: <https://www.climate-eval.org/sites/default/files/evaluations/513%20Photovoltaic%20Based%20Rural%20Electrification.pdf>
- [3] Orion Energy Corporation. Peru RESPAR System Design [Internet], ILZRO RAPS Peru. Iquitos, Peru, 2000, [citado 30 julio 2014]. Disponible en: [http://www.ilzrorapsperu.org/docs/english/system\\_design.pdf](http://www.ilzrorapsperu.org/docs/english/system_design.pdf)
- [4] América Economía. Perú inaugura dos centrales eléctricas de energía solar hechas por españoles. [Internet], 2013, [citado 30 julio 2014]. Disponible en: <http://www.americaeconomia.com/negocios-industrias/peru-inaugura-dos-centrales-electricas-de-energia-solar-hechas-por-espanoles>
- [5] SolarWorld, “Sunmodule SW 85 poly R5A” Hillsboro, U.S.A., [Internet], [citado 30 oct 2013]. Disponible en: <http://www.solarworld-usa.com/~media/www/files/datasheets/sunmodule-off-grid/sunmodule-off-grid-solar-panel-85-poly-r5a.pdf>
- [6] Javier Méndez Muñiz, “Energía Solar Fotovoltaica”, 4<sup>ta</sup> Edición, *FC Editorial*, 2010.
- [7] Javier Méndez, Cuervo Rafael, “Energía Solar Fotovoltaica”, 4<sup>ta</sup> Edición, *Fundación Confemetal*, Madrid, 2009
- [8] Oscar Perpiñán, et. Al. “Diseño de sistemas fotovoltaicos”, *Promotora General de Estudios S.A.*, Madrid, 2012.
- [9] Lorena García y Narciso Moreno, “Instalaciones de energía fotovoltaica” 1<sup>ra</sup> Edición, 3<sup>ra</sup> Impresión, *Ibergarceta Publicaciones S.L.*, Madrid, 2010.
- [10] José Canovas de Moura. “Caracterização de Baterias Automotivas para Uso Solar Fotovoltaico”. Universidad Federal Rio Grande Do Sul Tesis Maestría en Ingeniería, 1996, [citado el 30 de oct 2013], Disponible en <http://www.solar.ufrgs.br/Teses.html>
- [11] Sandia National Laboratories, “Stand-alone Photovoltaic Systems: A Handbook of Recommended Design Practices”, *National Technical Information Service*, U.S. Department of Commerce, Springfield, 1995.
- [12] Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología. “Atlas de energía solar del Perú” [Internet], *Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología*, Lima, Peru, 2003, [citado 2012, Jun 26]. Disponible en: [http://dger.minem.gob.pe/atlassolar/ATLAS\\_SOLAR.pdf](http://dger.minem.gob.pe/atlassolar/ATLAS_SOLAR.pdf)