



# **UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA**

**ÁREA DE LA ENERGÍA, LAS INDUSTRIAS Y LOS  
RECURSOS NATURALES NO RENOVABLES.**

**CARRERA DE TECNOLOGÍA EN ELECTRICIDAD Y  
CONTROL INDUSTRIAL**

**TEMA:**

**"Repotenciación del sistema fotovoltaico utilizado para  
iluminar el acceso principal de la vivienda sostenible del  
AEIRNNR"**

**INFORME TÉCNICO PREVIO  
A LA OBTENCIÓN DEL  
TÍTULO DE TECNÓLOGO EN  
ELECTRICIDAD Y CONTROL  
INDUSTRIAL.**

**AUTOR:** Danny Pablo Godoy Armijos

**DIRECTOR:** Ing. Julio César Cuenca Tinitana, Mg. Sc,

**LOJA – ECUADOR  
2015**

## **CERTIFICACIÓN**

Ing. Julio César Cuenca Tinitana, Mg. Sc,  
**DOCENTE DEL ÁREA DE LA ENERGÍA, LAS INDUSTRIAS Y LOS RECURSOS  
NATURALES NO RENOVABLES DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA;  
Y DIRECTOR DEL INFORME TÉCNICO.**

### **CERTIFICA:**

Que el trabajo de investigación titulado "**REPOTENCIACIÓN DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO UTILIZADO PARA ILUMINAR EL ACCESO PRINCIPAL DE LA VIVIENDA SOSTENIBLE DEL AEIRNNR**", desarrollado por el señor Danny Pablo Godoy Armijos, previo a optar el grado de Tecnólogo en Electricidad y Control Industrial ha sido realizado bajo mi dirección, mismo que cumple con los requisitos de grado exigidos en las Normas de graduación, por lo que autorizo su presentación ante el tribunal de grado.

Loja, septiembre del 2014



Ing. Julio César Cuenca Tinitana, Mg. Sc,  
**DIRECTOR DEL INFORME TÉCNICO**

## AUTORÍA

Yo, **DANNY PABLO GODOY ARMIJOS**, declaro ser autor del presente trabajo de tesis y eximo expresamente a la Universidad Nacional de Loja y a sus representantes jurídicos de posibles reclamos o acciones legales, por el contenido de la misma.

Adicionalmente acepto y autorizo a la Universidad Nacional de Loja, la publicación de mi tesis en el Repositorio Institucional-Biblioteca Virtual.



**Firma:** .....

**Cédula:** 1104956089

**Fecha:** 08/07/2015

## **CARTA DE AUTORIZACIÓN DE TESIS POR PARTE DEL AUTOR, PARA LA CONSULTA, REPRODUCCIÓN PARCIAL O TOTAL, Y PUBLICACIÓN ELECTRÓNICA DEL TEXTO COMPLETO.**

Yo, **DANNY PABLO GODOY ARMIJOS**, declaro ser autor de la tesis titulada: "**REPOTENCIACIÓN DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO UTILIZADO PARA ILUMINAR EL ACCESO PRINCIPAL DE LA VIVIENDA SOSTENIBLE DEL AEIRNNR**", como requisito para optar al Título de: "**TECNÓLOGO EN ELECTRICIDAD Y CONTROL INDUSTRIAL**;" autorizo al Sistema Bibliotecario de la Universidad Nacional de Loja para que con fines académicos, muestre al mundo la producción intelectual de la Universidad, a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera en el Repositorio Digital Institucional:

Los usuarios pueden consultar el contenido de este trabajo en el RDI; en las redes de información del país y del exterior, con las cuales tenga convenido la Universidad.

La Universidad Nacional de Loja, no se responsabiliza por el plagio o copia de la tesis que realice un tercero.

Para constancia de esta autorización, en la ciudad de Loja, a los ocho días del mes de julio del dos mil quince, firma el autor.

**Firma:**  .....

**Autor:** Danny Pablo Godoy Armijos

**Correo:** barc\_89d@hotmail.com

**Cedula:** 1104956089

**Teléfono:**

**Celular:** 0982935835

**Dirección:** Saraguro-Urdaneta, Calle Instituciones

### **DATOS COMPLEMENTARIOS**

**Director de Tesis:** Ing. Julio César Cuenca Tinitana, Mg. Sc,

**Tribunal de Grado:**

Ing. Paulo Alberto Samaniego Rojas, Mg. Sc,

Ing. Edwin Bladimir Paccha Herrera, Mg. Sc,

Ing. José Fabricio Cuenca Granda, Mg. SC,

## **AGRADECIMIENTO**

Extiendo mi más grato agradecimiento a dios por brindarme salud, vida y conocimiento; por facilitar una oportunidad para superarme en la prestigiosa Universidad Nacional de Loja, así como hago extensivo el agradecimiento al personal académico y administrativo del Área de la Energía, las Industrias y los Recursos Naturales No Renovables.

Mi sincero agradecimiento al ingeniero Luis Yunga, que me ha brindado su conocimiento en mi vida profesional porque con sus consejos y su apoyo he podido culminar con éxito este trabajo de investigación.

Agradezco a mis padres, hermanos, familiares y amigos, quienes estuvieron en las buenas y en las malas, a todos quienes fueron parte de mi vida estudiantil por todas esas palabras de aliento que han servido para dar una paso más en mi superación y llegar a ser un profesional.

EL AUTOR

## DEDICATORIA

El presente trabajo lo dedico con mucho amor y cariño a mis padres José y Lida, ellos con mucho amor y sacrificio a pesar de todo siempre me han brindado su apoyo incondicional para terminar con éxito esta etapa de mi vida.

A todos mis hermanos y hermanas que con sus palabras generosas siempre me han servido para salir adelante.

A todos mis maestros, que a pesar de todo confiaron en mí y supieron comunicar sus conocimientos y así salir adelante.

**Danny Pablo Godoy Armijos**

## RESUMEN

En este trabajo se describe la repotenciación del sistema fotovoltaico que sirve para iluminar el acceso principal de la vivienda sostenible del AEIRNNR, y así hacer un mejor uso de la energía generada por los paneles solares, para ello se realizó una evaluación del sistema a través de la revisión y verificación de los equipos y dispositivos del sistema fotovoltaico.

Como las instalaciones estaban deterioradas y en mal estado se optó por realizar nuevas conexiones en los acumuladores, dejando cuatro baterías conectadas en paralelo para el inversor de mayor capacidad y así mejorar la distribución de energía eléctrica, de esta manera se prolonga la energía acumulada en las baterías, esto permitió que el tiempo de encendido de las luminarias tipo LED en horarios nocturnos sea de mayor tiempo de servicio, también se colocó una caja térmica con sus respectivos breakers para proteger el sistema fotovoltaico por cualquier anomalía que ocurra en el cableado subterráneo o cualquier daño que pueda suceder en las lámparas.

Se mejoró las seguridades donde se alberga el sistema de regulación y conversión de energía provenientes de los paneles fotovoltaicos por lo que se cambió las puertas de acceso del armario para que no ingresen basuras dentro del armario y puedan afectar el funcionamiento de las baterías. Alrededor del sistema fotovoltaico se ubicó una capa de grava de  $\frac{3}{4}$  con la finalidad de evitar el crecimiento de maleza y evitar que se introduzca residuos de pasto cuando se pade la yerba y sea más fácil el acceso al sistema de generación, por último se ha realizado la limpieza de los módulos fotovoltaicos.

## SUMMARY

This work is done the repowering of the photovoltaic system which serves to illuminate the Access main sustainable housing of the AEIRNNR, and thus make better use of the energy generated by solar panels, it conducted an evaluation through the review and verification of the equipment and devices of the photovoltaic system.

As installations were run down and in a bad states chose to make some new connections in the accumulator, leaving four connected in parallel to the inverter higher capacity and improve the distribution of electrical energy, so batteries stored energy is prolonged batteries, this allowed time on luminaire type LED night hours is more time of service, a cool box with their breakers are also placed to protect the PV system for any abnormality occurs in the underground wiring or any damage that may happen in the lamps.

It Improved securities where the regulatory system and energy conversion from photovoltaic panels so the cabinet doors was changed to not enter garbage in the closet and can affect the operation of the batteries, is housed around photovoltaic system little rock a layer of  $\frac{3}{4}$  in order to prevent the growth of weeds and grass to prevent waste is introduced when the grass is mow and easier access to the system generation started finally has made cleaning photovoltaic modules.



# ÍNDICE GENERAL

<b>CONTENIDOS</b> .....	<b>PÁG.</b>
CERTIFICACIÓN .....	ii
AUTORÍA .....	iii
CARTA DE AUTORIZACIÓN DE TESIS POR PARTE DEL AUTOR, PARA LA CONSULTA, REPRODUCCIÓN PARCIAL O TOTAL, Y PUBLICACIÓN ELECTRÓNICA DEL TEXTO COMPLETO.....	iv
AGRADECIMIENTO.....	v
DEDICATORIA.....	vi
RESUMEN .....	vii
SUMMARY .....	viii
1 TÍTULO:.....	1
2 INTRODUCCIÓN.....	2
3 DESCRIPCIÓN TÉCNICA Y UTILIDAD.....	4
3.1 SISTEMA FOTOVOLTAICO .....	4
3.2 LA CÉLULA FOTOVOLTAICA .....	5
3.2.1 Estructura de la célula fotovoltaica .....	6
3.2.2 Como estan hechas la célula fotovoltaica.....	8
3.2.3 Tipos de módulos fotovoltaicos.....	9
3.3 MÓDULO FOTOVOLTAICO .....	10
3.3.1 Potencia del módulo fotovoltaica .....	11
3.3.2 Agrupamiento y conexión de paneles.....	12
3.3.3 Recomendaciones .....	13
3.4 EL REGULADOR .....	14
3.5 BATERÍAS O ACUMULADORES .....	15
3.5.1 Tres son las misiones que tienen las baterías en las instalaciones fotovoltaicas:.....	16
3.5.2 Cálculo del tiempo de descarga de una batería solar.....	16
3.5.3 Tipos de baterías .....	19
3.6 INVERSORES.....	21

3.7	ESTRUCTURA DE SOPORTE .....	23
3.7.1	Ubicación del controlador y de las baterías. ....	24
3.7.2	Montaje de los Paneles Fotovoltaicos .....	24
3.7.3	Ubicación.....	26
3.7.4	Orientación. ....	26
3.7.5	Ángulo de Inclinación.....	26
3.8	ATLAS SOLAR DEL ECUADOR CON FINES DE GENERACIÓN ELÉCTRICA.....	29
3.9	INSOLACIÓN .....	30
3.9.1	Insolación Difusa .....	30
3.9.2	Insolación Directa .....	31
4	MATERIALES.....	32
5	PROCESO METODOLÓGICO EMPLEADO .....	33
5.1	LEVANTAMIENTO DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO .....	33
5.2	PROPUESTA PARA LA REPOTENCIACIÓN.....	37
5.3	EVALUACIÓN DEL SISTEMA ELÉCTRICO .....	39
5.3.1	Determinación de las cargas en corriente alterna.....	39
5.3.2	Corriente pico del módulo.....	41
5.3.3	Dimensionamiento del módulo fotovoltaico .....	43
5.3.4	Dimensionamiento del banco de baterías.....	44
5.4	TABLAS DE CÁLCULOS SEGÚN EL "ATLAS SOLAR DEL ECUADOR CON FINES DE GENERACIÓN ELÉCTRICA" .....	46
5.4.1	Cálculo general para la potencia requerida .....	48
5.4.2	Cálculo para el banco de baterías. ....	49
5.4.3	Cálculo solo para la potencia de las lámparas .....	51
5.4.4	Cálculo solo para la potencia de los reflectores.....	53
6	RESULTADOS .....	56
6.1	Propuesta para el funcionamiento del sistema fotovoltaico a repotenciar con un sistema híbrido. ....	58
7	CONCLUSIONES .....	60
8	RECOMENDACIONES.....	61

9	BIBLIOGRAFÍA.....	62
10	ANEXOS .....	64
10.1	Anexo 1.....	64
10.2	Anexo 2.....	64
10.3	Anexo 3.....	65
10.4	Anexo 4.....	65
10.5	Anexo 5.....	66
10.6	Anexo 6.....	66
10.7	Anexo 7.....	67
10.8	Anexo 8.....	67
10.9	Anexo 9.....	68
10.10	Anexo 10.....	68

## **1 TÍTULO:**

**"REPOTENCIACIÓN DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO UTILIZADO PARA ILUMINAR EL ACCESO PRINCIPAL DE LA VIVIENDA SOSTENIBLE DEL AEIRNNR"**

## 2 INTRODUCCIÓN

La energía hoy en día es muy importante para la iluminación en viviendas, parques, calles, avenidas, etc., para producir movimiento mecánico en motores eléctricos y hacer funcionar los electrodomésticos que se utilizan en la actualidad. A nivel mundial día a día se está desarrollando nuevas tecnologías para sistemas de generación eléctrica sin contaminación, el sistema fotovoltaico es uno de ellos.

La generación por medio de un sistema fotovoltaico en la actualidad es muy fácil de utilizar y sobre todo es una energía sin contaminación para el planeta.

Como parte del desarrollo investigativo en el Área, se ha instalado un sistema fotovoltaico el cual se lo utiliza para el encendido de lámparas LED, esta lámparas se encuentran ubicadas en la entrada de la casa sustentable al costado izquierdo de las oficinas del Área de energía, pero debido al consumo que demandan las luminarias es necesario realizar una repotenciación en el sistema fotovoltaico, esto se puede evidenciar en el tiempo de funcionamiento, el mismo que es de quince minutos en horarios de la noche.

La repotenciación consiste en mejorar la capacidad de acumulación de energía eléctrica DC en un banco de baterías para que éstas puedan suministrar energía suficiente para las lámparas LED y así su rendimiento se prolongue en el horario de funcionamiento de la noche, ya que el tiempo que permanece la iluminación encendida no permite transitar adecuadamente. También se mejorará la infraestructura del sistema fotovoltaico adecuando bien la seguridad y el lugar donde se encuentra emplazado el sistema fotovoltaico de manera que permita manipular los dispositivos cuando se requiera realizar un arreglo o mantenimiento al sistema.

Desde que se ha creado la energía eléctrica se ha venido fomentando diversas maneras para obtener energía eléctrica las plantas de generación como son las

hidráulicas, térmicas, eólicas y solar son las que destacan en la obtención de energía. Pero al paso de los años se ha estado estudiando las energías limpias y renovables para el país estas energías no contaminantes, además sustentables para la obtención de cualquier establecimiento o persona.

Al querer saber más de la generación de energía eléctrica se ha planteado un proyecto que es requerimiento para la culminación de la formación universitaria este tema permite conocer un poco más y hacer conocer a la sociedad en general sobre el campo de investigación planteado.

Para hacer este trabajo hay que investigar acerca de la energía solar para así conseguir trabajar con los instrumentos del sistema fotovoltaico sin dificultad y de manera correcta, utilizando los diferentes aparatos que sirven para la generación de energía solar.

El proyecto contempla el siguiente objetivo general:

Repotenciar el sistema fotovoltaico del AEIRNNR para un mejor aprovechamiento de la energía eléctrica proveniente de esta fuente renovable.

Para ello se plantearon los siguientes objetivos específicos:

- ✓ Recopilación de información acerca de energía solar y sistemas fotovoltaicos.
- ✓ Levantamiento y análisis del sistema fotovoltaico de la casa sustentable.
- ✓ Hacer los respectivos mejoramientos del sistema fotovoltaico de la casa sustentable.

### 3 DESCRIPCIÓN TÉCNICA Y UTILIDAD

La repotenciación que se sustenta en el sistema de generación del sistema fotovoltaico (FV) que se encuentra al lado derecho a tres metros de la casa AEIRNNR sustentable y su área de generación es de cinco metros de largo y cuatro de ancho, a continuación un croquis mostrando la ubicación del trabajo realizado. El sistema de generación FV consta de seis paneles solares, cuatro acumuladores de energía, un regulador de energía y un inversor de DC a AC, lo cual todos estos artefactos que componen el sistema de generación, funcionan para el encendido de dos lámparas que alumbran la entrada de la casa y dos reflectores que alumbran indirectamente la casa.



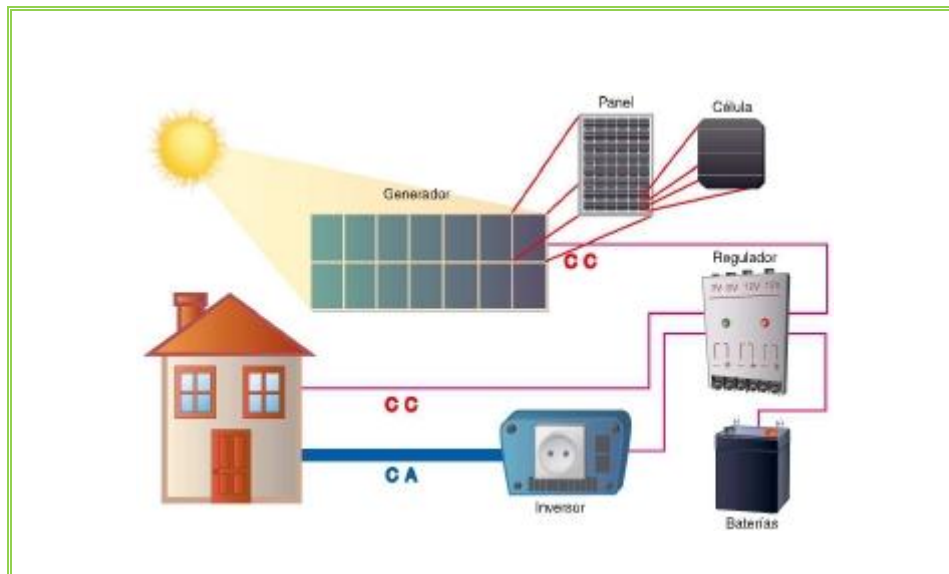
Croquis donde se encuentra ubicado el sistema fotovoltaico.

**Fuente.** Google earth editado por el autor

#### 3.1 SISTEMA FOTOVOLTAICO

Un sistema fotovoltaico consiste en la integración de varios componentes, cada uno de ellos cumpliendo con una o más funciones específicas, cuya finalidad es transformar la energía recibida por el sol en energía eléctrica. Consta principalmente de los siguientes elementos.

- Módulo solar
- Regulador de carga
- Baterías de almacenamiento eléctrico
- Inversor de corriente DC/AC



**Figura 1.** Sistema de generación fotovoltaica.

**Fuente.** (Componentes de una instalación solar fotovoltaica, 2010)

### 3.2 LA CÉLULA FOTOVOLTAICA

Los componentes principales de cualquier instalación de energía solar es el generador que recibe el nombre de célula solar, se caracteriza por convertir directamente en electricidad los fotones provenientes de la luz del sol y su funcionamiento se basa en el efecto fotovoltaico. El efecto fotovoltaico se basa sobre la capacidad de algunos semiconductores como el silicio que generan directamente energía eléctrica cuando se expone a los fotones del sol.

La transformación de energía solar a energía eléctrica tiene lugar en la célula fotovoltaica que es el principal componente en el proceso de la transformación de la radiación solar a energía eléctrica. La luz está formada por partículas, los fotones que transportan energía, cuando un fotón con suficiente energía golpea la



célula este es absorbido por los materiales semiconductores y libera un electrón, el electrón una vez libre deja detrás de sí una carga positiva llamada hueco.

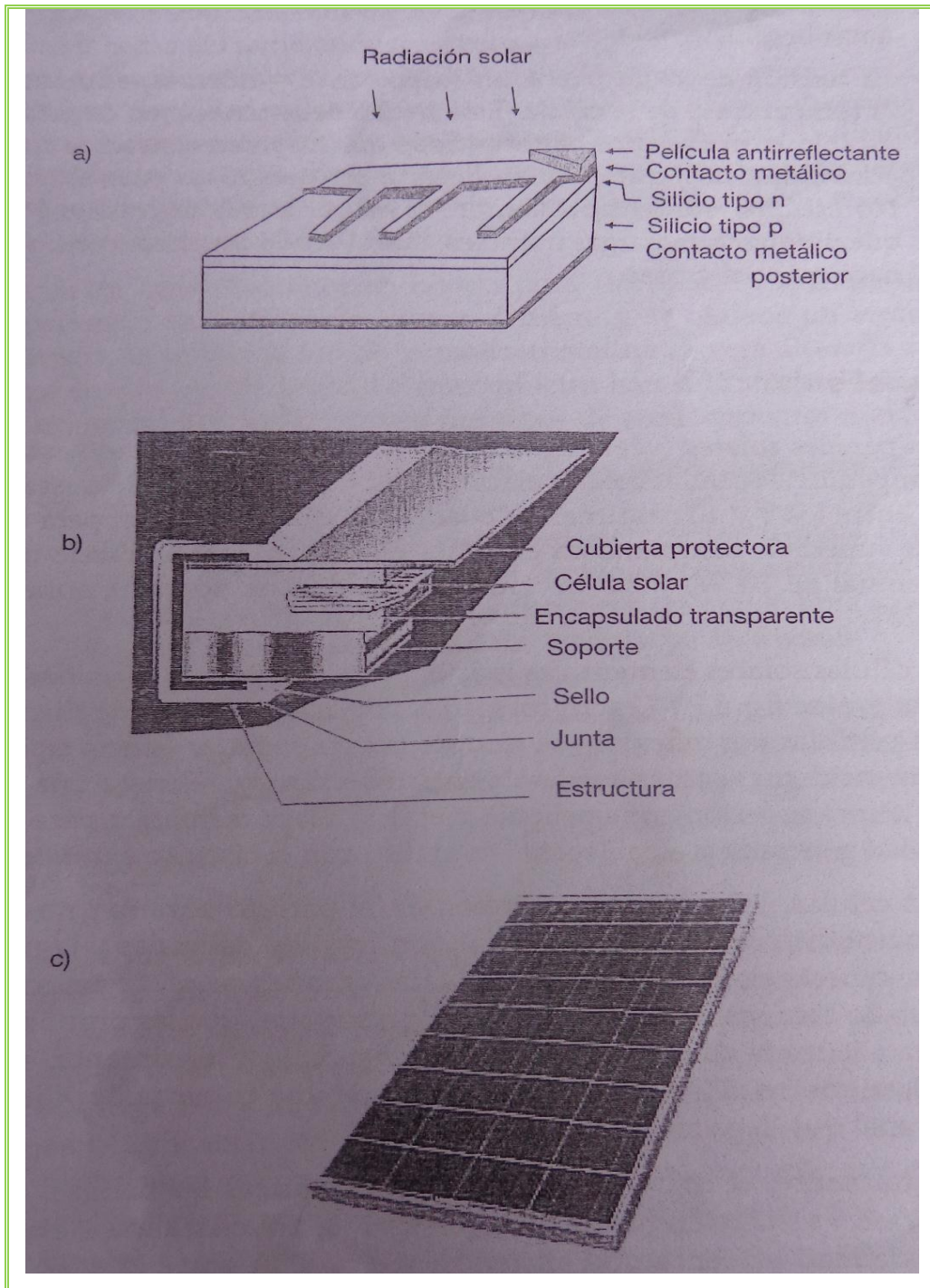
Por lo tanto cuanto mayor será la cantidad de los fotones que golpean las célula tanto más numerosas serán las parejas electrón-huco producidas por efecto fotovoltaico y por lo tanto más elevada sera la cantidad de corriente producida.

### **3.2.1 Estructura de la célula fotovoltaica**

Los paneles solares (véase en la fig. 2 en la página 7) que existen en el mercado están formados por pequeñas células solares elementales, cuyo tamaño suele estar comprendido entre los ocho y diez centímetros cuadrados, que se agrupan para formar paneles de superficie comprendida entre los 800 cm<sup>2</sup> (suministrando una potencia nominal de 10 W) y 2,5 m<sup>2</sup> (suministrando una potencia nominal de 300 W). (Jutglar, Lluís, 2004)

Las células solares elementales más habituales, que son la unidad básica del colector (véase en la fig. 2a), están formadas por una unión p-n de silicio. Para reducir las pérdidas por reflexión, se recubre la parte superior (silicio tipo n que recibe la luz incidente) con una película antirreflectante y se adosa una parrilla metálica a la cara superior y una película metálica a la cara inferior, para recoger la electricidad generada y establecer el contacto con el circuito exterior.

Estas células tal como se describen en el párrafo anterior, no pueden comercializarse directamente, puesto que son frágiles, delicadas y la potencia que pueden generar es muy pequeña. Por estas razones, se protegen mediante un encapsulado transparente, situado sobre un soporte, que les proporciona la consistencia adecuada para su manejo (véase en la fig. 2b) y, finalmente, se instalan en un bastidor metálico, bajo la protección de una cubierta de vidrio, para formar el panel que llega el mercado (véase en la fig. 2c) (Jutglar, Lluís, 2004)



**Figura 2.** Esquema ilustrativo de la constitución de un panel de células fotoeléctricas.  
**a)** Partes de la célula fotovoltaica. **b)** Partes de la estructura del módulo solar. **c)** Módulo solar.  
**Fuente.** (Jutglar, Lluís, 2004)

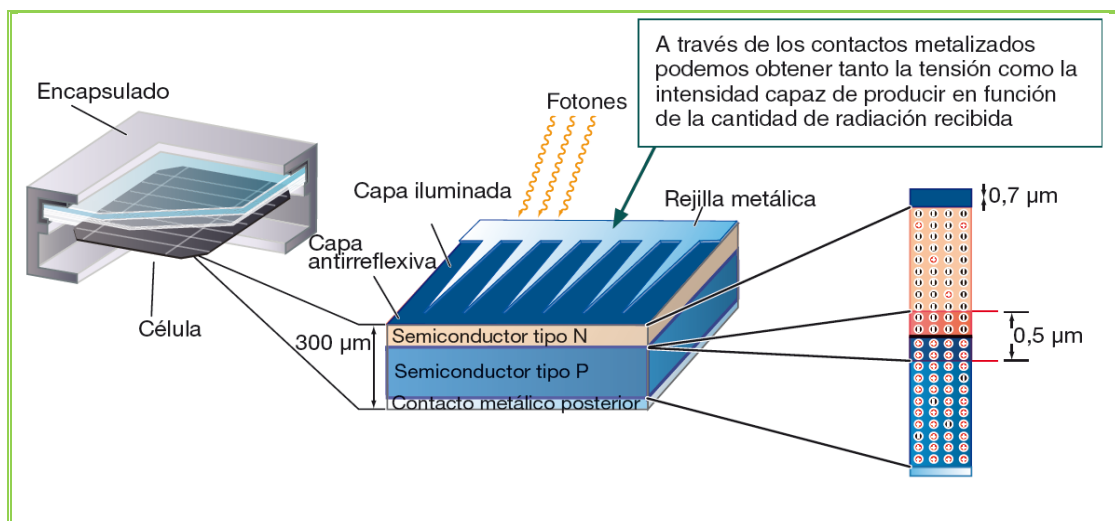
### 3.2.2 Como estan hechas la célula fotovoltaica

La célula fotovoltaica es un dispositivo formado por una delgada lámina de un material semi-conductor, muy amenudo de silicio. Se trata del mismo silicio utilizado en la industria electrónica, cuyo coste es todavia más alto.

Actualmente el material más utilizado es el silicio mono-cristalino, que presenta prestaciones y duración en el tiempo superiores a cualquier otro tipo de silicio como:

- **Silicio Mono-cristalino:** Rendimiento energético hasta 15 – 17 %.
- **Silicio Poli-cristalino:** Rendimiento energético hasta 12 – 14 %
- **Silicio Amorfo:** Rendimiento energético menos del 10 %

La célula fotovoltaica está hecha por una placa de silicio, normalmente de forma cuadrada, con aproximadamente 10 cm de lado y con un grosor que varía entre los 0.25 y los 0.35 mm, con una superficie de más o menos 100 cm<sup>2</sup>, en la figura 3 se detalla con exactitud las dimensiones y partes de una célula fotovoltaica. (ITER, 2009)



**Figura 3.** Estructura de la célula solar.

**Fuente.** (Componentes de una instalación solar fotovoltaica, 2010)

### 3.2.3 Tipos de módulos fotovoltaicos

En el comercio fotovoltaico existe una gran variedad de fabricantes y modelos de módulos solares. Según el tipo de materiales empleados para la fabricación de paneles solares se clasifican en:


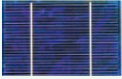

Panel FV de silicio monocristalino: son los más utilizados debido a su gran confiabilidad y duración, aunque su precio es ligeramente mayor que los otros tipos.

Panel FV de silicio policristalino: son ligeramente más baratos que los paneles de silicio monocristalinos, aunque su eficiencia es menor.

Paneles FV de silicio amorfo: tienen menor eficiencia que los 2 anteriores, pero un precio mucho menor. Además son delgados y ligeros, hechos en forma flexible, una eficiencia muy buena pero al paso del funcionamiento este se va debilitando. Ejemplo son las que se tienen en las calculadoras, relojes etc.

Los tipos de paneles solares vienen dados por la tecnología de fabricación de las células, y son fundamentales. Existen diferentes tipos de células solares, dependiendo del material realizado, como lo muestra la tabla 1.

**Tabla 1.** Diferencias entre los paneles según la tecnología de fabricación.

Células	Silicio	Rendimiento laboratorio	Rendimiento directo	Características	Fabricación
	Monocristalino	24 %	15 - 18 %	Son típicos los azules homogéneos y la conexión de las células individuales entre sí (Czochralski).	Se obtiene de silicio puro fundido y dopado con boro.
	Policristalino	19 - 20 %	12 - 14 %	La superficie está estructurada en cristales y contiene distintos tonos azules.	Igual que el del monocristalino, pero se disminuye el número de fases de cristalización.
	Amorfo	16 %	< 10 %	Tiene un color homogéneo (marrón), pero no existe conexión visible entre las células.	Tiene la ventaja de depositarse en forma de lámina delgada y sobre un sustrato como vidrio o plástico.

**Fuente.** (Componentes de una instalación solar fotovoltaica, 2010)

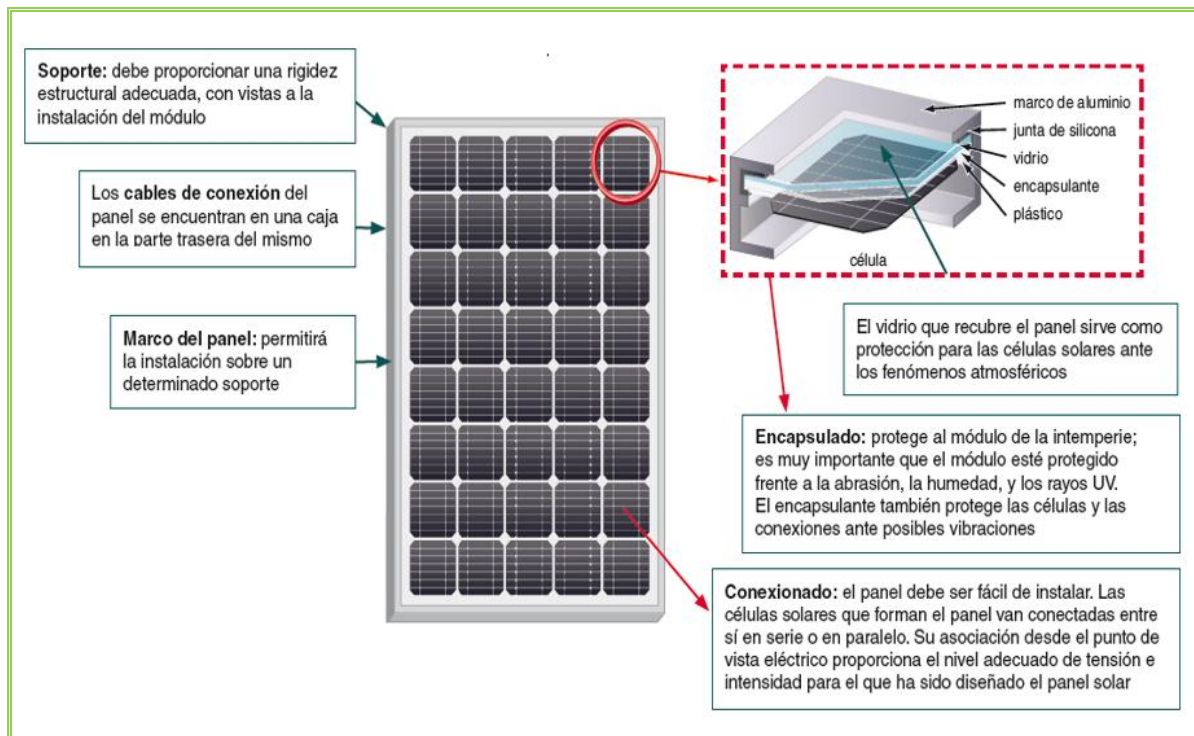
### 3.3 MÓDULO FOTOVOLTAICO

- Es un conjunto de celdas fotovoltaicas que sirven para transformar la radiación solar (luz solar) en energía eléctrica.
- Genera un voltaje y corriente requeridos por las cargas. Esta energía es de 12V DC (voltaje de corriente continua) para el uso de diferentes equipos, como radio grabadoras, lámparas, bombas de agua, televisores, etc.
- Si se utilizan artefactos eléctricos estándar, es necesario cambiar 12V DC a un voltaje mayor de corriente alterna 220V AC, que es el voltaje que utilizamos en las zonas urbanas.
- Todas las características básicas de un módulo fotovoltaico están señaladas bajo condiciones estándar (Radiación = 1 000 W/m<sup>2</sup>, T = 25 °C):

Potencia Pico [Wp] = Máxima salida de potencia en Watts pico (por ejemplo: 36 Wp)

Corriente de cortocircuito [A] = Corriente entre los polos conectados de un módulo (por ejemplo: 2.31A para un módulo de 36 Wp)

Tensión de circuito abierto [V] = Voltaje entre los polos de un módulo sin carga (por ejemplo: 20.5V para un módulo de 36 Wp). (Orbegozo, Carlos; Arivilca, Roberto, 2010)



**Figura 4.** Contitución de un panel solar. Se destacan sus principales características.

**Fuente.** (Componentes de una instalación solar fotovoltaica, 2010)

Módulo fotovoltaico o panel solar, ver figura 4. Esta formado por un conjunto de 36 o más células conectadas eléctricamente en serie sobre una estructura de soporte o marco. Proporciona en su salida de conexión una tensión continua de 6V, 12V , 24V o 48V que dependerá a que tensión pretendan que trabaje el sistema fotovoltaico.

### 3.3.1 Potencia del módulo fotovoltaica

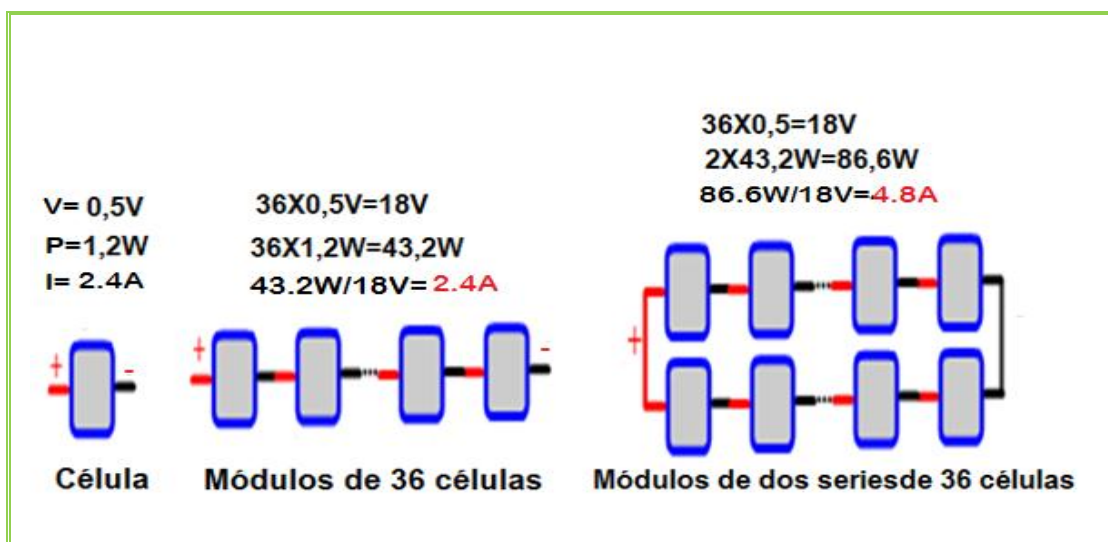
La potencia que proporciona una célula solar de tamaño normal de 10 X 10 cm esta es muy pequeña y produce de 0.5 a 0.6 V y de 1 a 2 W, por lo que se tiene que asociarse varias células con el fin de crear un panel solar y proporcionar la tensión y la potencia en una instalación de un sistema fotovoltaico.

A los módulos se les puede instalar de manera que la potencia y tensión sea la adecuada a utilizar, la conexión de las células o los módulos pueden ser en serie,

paralelo o mixto, desde el punto de vista eléctrico esto depende de la potencia y tensión que se requiera para trabajar.

### 3.3.2 Agrupamiento y conexión de paneles

Si una célula FV (fotovoltaica) proporciona 0,5 voltios se necesitarían 24 células en serie como mínimo para obtener 12 voltios de tensión de salida para alimentar las baterías. Al aumentar la temperatura de trabajo de las células disminuye la tensión de salida y por eso los fabricantes de paneles FV colocan 36 células o más en serie para asegurar la carga de las baterías.



**Figura 5.** Agrupamiento y conexión de paneles  
**Fuente.** (Manzano Orrego José; López Chaves Teodoro, 2008)

Cuando la demanda de potencia crece se puede conectar varios paneles en paralelo para aumentar la corriente producida, para esto es necesario la sección de los cables siendo más difíciles su conexión y más caro, o se conectan los paneles en serie incrementando el voltaje de salida. Lo mejor es incrementar el voltaje de salida del generador conectando los paneles en serie." (Manzano Orrego José; López Chaves Teodoro, 2008)

**Conexión en serie** de las células, permitirá aumentar la tensión final.

Dos células en serie, la tensión de la asociación es el doble que la de una célula individual.

**Conexión en paralelo** permitirá, aumentar la intensidad total del conjunto.

Dos células en paralelo la corriente del conjunto es el doble que la de una célula sola.

### 3.3.3 Recomendaciones

- ✓ La conexión de los módulos fotovoltaicos se realiza por la parte posterior de los mismos.
- ✓ Impedir que las baterías de la instalación se descargue a través de los paneles.
- ✓ Evitar que se invierta el flujo de corriente entre bloques interconectados en paralelo cuando en algunos de ellos se produzca una sombra.
- ✓ Proteger individualmente cada panel de posibles daños ocasionados por sobras parciales que se produzcan por circunstancias especiales.



**MÓDULO FOTOVOLTAICO**

Photovoltaic Module	
Module Type:	100P
Rated Maximum Power:	100W
Open-Circuit Voltage (Voc):	22.0V ±0.5
Short-Circuit Current (Isc):	6.14A ±0.1
Voltage At Pmax (Vmp):	17.5V ±0.5
Current At Pmax (Imp):	5.71A ±0.1
Output Tolerance:	±3%
Maximum System Voltage:	1000V
Module Size:	1170*670*35(mm)
According to STC (1000w/m <sup>2</sup> , AM1.5, Cell temperature 25°C)	

**CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS**

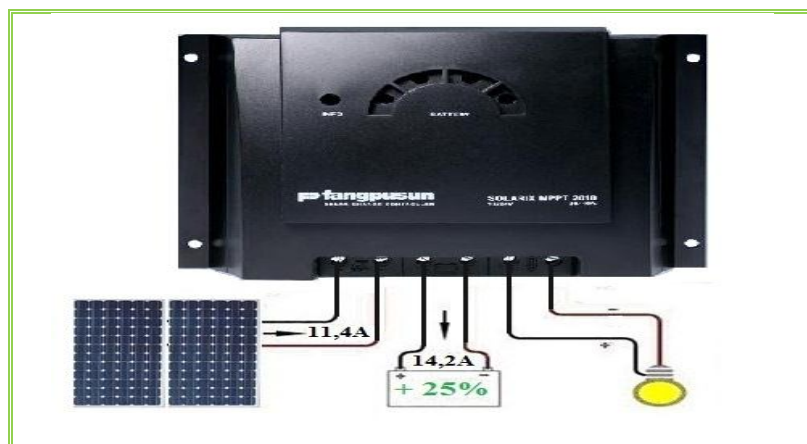
**Figura 6.** Fotografía de módulo solar en la realidad con sus características técnicas.

**Fuente.** Autor



### 3.4 EL REGULADOR

Es el encargado de ajustar y regular la carga que sale directamente del módulo fotovoltaico, ya que está en función de la insolación solar y puede sobrepasar la capacidad de los acumuladores (baterías). La función principal del regulador de carga es proteger las baterías de las sobrecargas y sobre descargas en condiciones extremas de operación.



**Figura 7.** Conexión del regulador en una instalación fotovoltaica.

**Fuente.** (Mppt Solar, 2015)

El regulador tiene como función fundamental impedir que la batería continúe recibiendo energía del módulo solar una vez que ha alcanzado su carga máxima. Una vez que ha alcanzado la carga máxima y se intenta seguir introduciendo energía, se inicia en la batería, proceso de calentamiento que puede llegar a ser peligroso y en cualquier caso acortaría sensiblemente la vida útil del acumulador.

Otra función del regulador es la prevención de la sobre descarga, con el fin de evitar que se agote en exceso la carga de la batería, siendo este un fenómeno, puede provocar una sensible disminución en la capacidad de carga de la batería. Algunos reguladores incorporan una alarma sonora o luminosa previa a la desconexión para que el usuario pueda tomar medidas adecuadas, como reducción del consumo u otras.

Los reguladores más modernos integran las funciones de prevención de las sobrecarga y además suministra información del estado de carga de la batería. Estos reguladores también pueden incorporar sistemas que sustituya a los diodos encargados de impedir el flujo de electricidad de las baterías a los paneles solares en la noche. Las características eléctricas que definen un regulador son su tensión nominal y la intensidad máxima que es capaz de disipar.

En la mayoría de los casos, el precio del regulador representa solamente el 5% de la inversión inicial en el sistema FV. Pero el costo que puede representar a largo plazo es mucho mayor, debido a que las baterías pueden ser el componente de mayor coste a lo largo de la vida útil del sistema, y la duración de estas dependen directamente de la calidad del regulador de carga.

Por esa razón deben emplearse reguladores de carga de buena calidad y con una vida útil superior a los 10 años.



**Figura 8.** Fotografía del regulador y las características técnicas reales.

**Fuente.** Autor

### 3.5 BATERÍAS O ACUMULADORES

El acumulador es un dispositivo eléctrico que almacena y descarga energía eléctrica estos acumuladores, son diseñados para la carga y descarga de energía en tiempos rápidos o tiempos demorados.

Generalmente el banco de baterías y los paneles fotovoltaicos trabajan conjuntamente para alimentar las cargas. Durante la noche toda la energía demandada por la carga la provee el banco de baterías. En horas tempranas de la mañana los módulos comienzan a generar, pero si la corriente que entregan es menor que la que la carga exige, la batería deberá contribuir en el aporte.

Las baterías son recargadas desde la electricidad producida por los paneles solares, a través de un regulador de carga, y pueden entregar su energía a la salida de la instalación, donde será consumida.

### **3.5.1 Tres son las misiones que tienen las baterías en las instalaciones fotovoltaicas:**

- Almacenar energía durante un determinado número de días.
- Proporcionar una potencia instantánea elevada.
- Fijar la tensión de trabajo de la instalación.

Uno de los parámetros más importantes que tener en cuenta a la hora de elegir un acumulador es la capacidad. Se define como la cantidad de electricidad que puede lograrse en una descarga completa del acumulador partiendo de un estado de carga total del mismo. Se mide en amperios hora (Ah), y se calcula como el producto de la intensidad de descarga del acumulador durante el tiempo en el que está actuando:  $C = t \cdot I$ .

### **3.5.2 Cálculo del tiempo de descarga de una batería solar**

En una instalación fotovoltaica, cuya tensión de trabajo es de 12 Voltios, se está utilizando un acumulador cuya capacidad es de 200 Ah. Calcular el tiempo que tarda en descargarse cuando se conecta a la salida en aparato cuya potencia consumida es de 120 vatios.

Lo primero que tenemos que calcular es la intensidad que va a circular por la instalación cuando esté conectado el aparato. Si aplicamos la fórmula del cálculo de la potencia para obtener la intensidad:

(Ecuación 1)

$$P = V I \Rightarrow I = \frac{P}{V} = \frac{120}{12} = 10A$$

Según la definición dada de capacidad, la corriente descargada será, por tanto, de 10 amperios. Dado que  $C = 200 \text{ Ah}$ , el tiempo en horas que tardará en descargarse el acumulador será:

(Ecuación 2)

$$T = \frac{C}{I} = \frac{200}{10} = 20 \text{ horas}$$

Además de la capacidad, debemos considerar otros parámetros en los acumuladores que vamos a utilizar en las instalaciones fotovoltaicas:

**Eficiencia de carga:** relación entre la energía empleada para recargar la batería y la energía realmente almacenada. Interesada que sea un valor más alto posible (próximo al 100 %, lo que indicaría que toda la energía utilizada para la recarga es factible de ser empleada en la salida de la instalación). Si la eficiencia es baja, será necesario aumentar el número de paneles solares para obtener los resultados deseados.

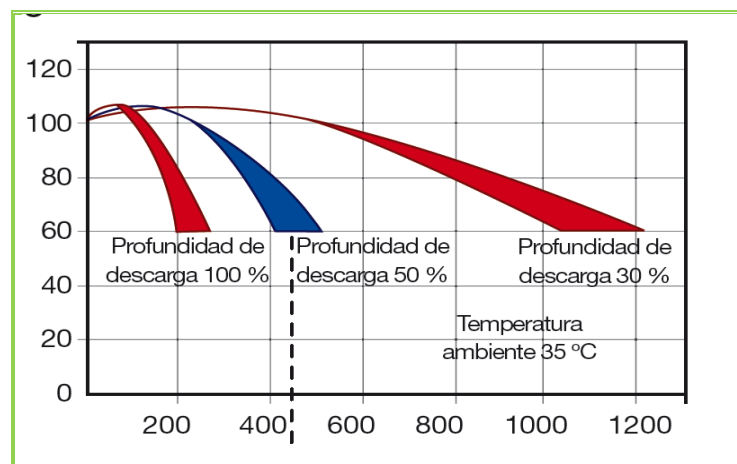
**Autodescarga:** proceso mediante el cual el acumulador, sin estar en uso, tiende a descargarse.

**Profundidad de descarga:** cantidad de energía, en tanto por ciento, que se obtiene de la batería durante una determinada descarga, partiendo del acumulador totalmente cargado. Está relacionada con la duración o vida útil del acumulador. Si los ciclos de descargas son cortos (en torno al 20 %, por

ejemplo), la duración del acumulador será mayor que si se le somete a descargas profundas (por ejemplo, del 80 %).

### Interpretación de la curva de profundidad de descarga de una batería

Para las baterías que queremos colocar en una instalación solar hemos obtenido del catálogo del fabricante la siguiente gráfica:



**Figura 9.** Curva característica

**Fuente.** (Componentes de una instalación solar fotovoltaica, 2010)

Si queremos que la batería funcione con una profundidad de descarga de aproximadamente el 50%, ¿Cuál sería el número de ciclos máximos (de carga y descarga) que podríamos obtener con esta batería? ¿Cuál sería el valor de la capacidad de la misma en ese momento?

Solución

Fijándose en la gráfica, para una profundidad de descarga del 50%, podemos tener aproximadamente 450 ciclos de carga y descarga de la batería.

El valor de la capacidad disminuirá hasta el 60% del que nos da el fabricante como valor nominal para la batería.

Además los parámetros eléctricos, las características que serían deseables para las baterías a utilizar en las instalaciones solares son:

- Buena resistencia al ciclado (proceso de carga-descarga).
- Bajo mantenimiento.
- Buen funcionamiento con corrientes pequeñas.
- Amplia reserva de electrolito.
- Depósito para materiales desprendidos.
- Vasos transparentes.

Existen diferentes tecnologías en la fabricación de baterías, si bien unas son más adecuadas que otras para utilizar en las instalaciones solares.

### 3.5.3 Tipos de baterías

Las baterías se clasifican en función de la tecnología de fabricación y de los electrolitos utilizados. En la tabla 2 podemos comparar los principales tipos de baterías que hay en el mercado, a través de sus características básicas.

**Tabla 2.** Características de los principales tipos de baterías.





Tipo de batería	Tensión por vaso (V)	Tiempo de recarga	Autodescarga por mes	N.º de ciclos	Capacidad (por tamaño)	Precio
Plomo-ácido	2	8-16 horas	< 5 %	Medio	30-50 Wh/kg	Bajo
Ni-Cd (níquel-cadmio)	1,2	1 hora	20 %	Elevado	50-80 Wh/kg	Medio
Ni-Mh (níquel-metal hydride)	1,2	2-4 horas	20 %	Medio	60-120 Wh/kg	Medio
Li ion (ión litio)	3,6	2-4 horas	6 %	Medio - bajo	110-160 Wh/kg	Alto

**Fuente.** (Componentes de una instalación solar fotovoltaica, 2010)

Las baterías más utilizadas en las instalaciones solares son las de plomo-ácido, por las características que presentan. Dentro de este tipo de baterías nos podemos encontrar diferentes modelos. Vamos a compararlos y analizar cuál es el más adecuado.

La siguiente tabla nos muestra diferentes modelos de baterías de plomo-ácido que se utilizan en la práctica (dependiendo de la aplicación de la instalación), con las ventajas e inconvenientes que pueden presentar. (Componentes de una instalación solar fotovoltaica, 2010)

**Tabla 3.** Baterías utilizadas en instalaciones solares.

TIPO	VENTAJAS	INCONVENIENTES	ASPECTO
Tubular estacionaria	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ciclado profundo.</li> <li>• Tiempos de vida largos.</li> <li>• Reserva de sedimentos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Precio elevado.</li> <li>• Disponibilidad escasa en determinados lugares.</li> </ul>	
Arranque (SLI, automóvil)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Precio.</li> <li>• Disponibilidad.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mal funcionamiento ante ciclado profundo y bajas corrientes.</li> <li>• Tiempo de vida corto.</li> <li>• Escasa reserva de electrolito.</li> </ul>	
Solar	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fabricación similar a SLI.</li> <li>• Amplia reserva de electrolito.</li> <li>• Buen funcionamiento en ciclados medios.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tiempos de vida medios.</li> <li>• No recomendada para ciclados profundos y prolongados.</li> </ul>	
Gel	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Escaso mantenimiento.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Deterioro rápido en condiciones de funcionamiento extremas de V-I.</li> </ul>	

**Fuente:** (Componentes de una instalación solar fotovoltaica, 2010)

### 3.6 INVERSORES

El inversor es un aparato que convierte la corriente continua de cualquier instalación ya sea de 12, 24 o 48 Volt según sea la capacidad del inversor, en corriente alterna de 120 V 60Hz o 220 V 50 Hz, igual a la tensión de la red eléctrica.



**Figura 10.** Fotografía del Inversor  
**Fuente.** Autor

Tabla 4. Análisis de una hoja de características de un inversor.

Model SI	612 624 648	812 824	1212 1224 1248	1624	2324 2348	3324	3548
Input voltage (Unom) [V]	12/24/48	12/24	12/24/48	24	24V/48	24	48
Nominal power [W]	600	800	1200	1600	2300	3300	3500
« Standby » current [mA]	25/21/10	25/21	25/21/12	21	25/17	25	30
Power « ON » no load [W]	2.6	2.8	4.8	5.8	9	13	17
Power « ON » no load [W] TWINPOWER system	-----	-----	< 0.5	< 0.5	< 0.6	< 0.7	< 0.8
Maximum efficiency [%]	91	92	93 - 95	93 - 95	95	95	95
Length L x 124 (H) x 215 (W) [mm]	276	276	391	391	591	636	791
Weight [kg]	6.9	10.4	13.2	15.2	27	30	38

**Fuente.** (Componentes de una instalación solar fotovoltaica, 2010)



1. **Tensión de entrada.-** debe coincidir con la tensión nominal de las baterías.
2. **Potencia nominal.-** es la potencia que es capaz de entregar el inversor a la instalación. Siempre será mayor cuando se haya calculado como consumo de los equipos que van a funcionar en alterna.
3. **Corriente en reposo**
4. **Potencia en vacío.-** cuando no hay carga conectada.
5. **Rendimiento máximo.-** importante porque nos indicará la potencia real entregada por el conversor, que siempre es menor que la potencia nominal del mismo. Es un factor a tener en cuenta cuando se haga el cálculo de la instalación.

Las características de la salida del inversor están referidas a la corriente alterna. Algunos de los valores más importantes que el fabricante nos indicará son:

**Tabla 5.** Características técnicas de un inversor

Output voltage	True sine 230 Vac $\pm$ 3%	6
Distortion	< 2% (at Pnom)	7
Dynamic behaviour	From 0% to 100% load change. Normalization: 0.5 ms	
Frequency	50 Hz $\pm$ 0.01% (Crystal control)	8

**Fuente.** (Componentes de una instalación solar fotovoltaica, 2010)

6. **Forma de onda.-** en este caso se trata de una onda senoidal de 230V de valor eficaz que puede tener una variación del 3%.

Un primer avance en el diseño de inversores, permitió generar una onda de salida casi sinusoidal, conocida también como sinusoidal modificada.

7. **Distorsión.-** indica la posible degradación de la onda menor de un 2 % trabajando a la potencia nominal.

8. **Frecuencia de la señal.-** Debe de coincidir con la red eléctrica y ser muy estable (en este ejemplo solamente tiene variación de un 0,01 % )

### **3.7 ESTRUCTURA DE SOPORTE**

Una parte importante de un sistema de generación de electricidad solar es la estructura de soporte de los paneles. Ella asegura que los paneles puedan colocarse con el ángulo de inclinación correcto en dirección al sol y brinden seguridad a la instalación. El conjunto constituido por la estructura de soporte y los paneles deberá ser capaz de cumplir con los siguientes requerimientos:

- a) Soportar vientos fuertes de 100 o hasta 150 km/h.
- b) El material de ve de ser resistente a la corrosión. Los mejores resultados son los obtenidos con acero galvanizado y aluminio anodizado.
- c) Todo el soporte deberá estar conectado a una tierra común que cumpla la regulación de bajos voltajes.

Existe una amplia variedad de estructuras de soporte disponibles, desde aquéllas que se pueden montar sin requerir personal especializado hasta estructuras hechas a la medida, para sistemas solares más grandes. Las estructuras de soporte pueden ser fabricadas a base de un marco metálico o de un material sintético.

Existen diversos tipos de sistemas de soporte, dependiendo del lugar donde se instalará el sistema solar, como lo muestra la figura.



**Figura 11.** Diversas Estructuras de soporte para paneles fotovoltaicos

**Fuente:** (Antusol, 2010)

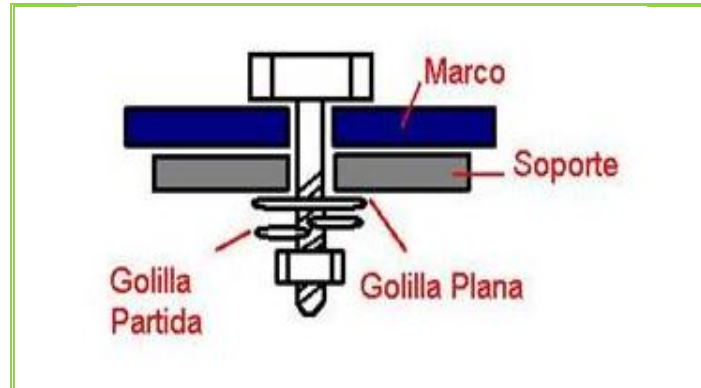
### **3.7.1 Ubicación del controlador y de las baterías.**

El controlador debe estar en un lugar protegido de la intemperie (de preferencia dentro de la casa), procurando que la distancia entre el controlador y las baterías sea menor de 1.5 metros (para el tendido del cable), de esta forma se minimizarán las pérdidas de energía en el cable, haciendo más confiable y eficiente el sistema. Las baterías también deben estar en un lugar protegido de la intemperie (puede ser dentro de la casa), con buena ventilación, para evitar la acumulación de gases generados por la batería. Coloque la batería de preferencia sobre una tarima de madera, nunca directamente sobre el piso y fuera del alcance de los niños.

### **3.7.2 Montaje de los Paneles Fotovoltaicos**

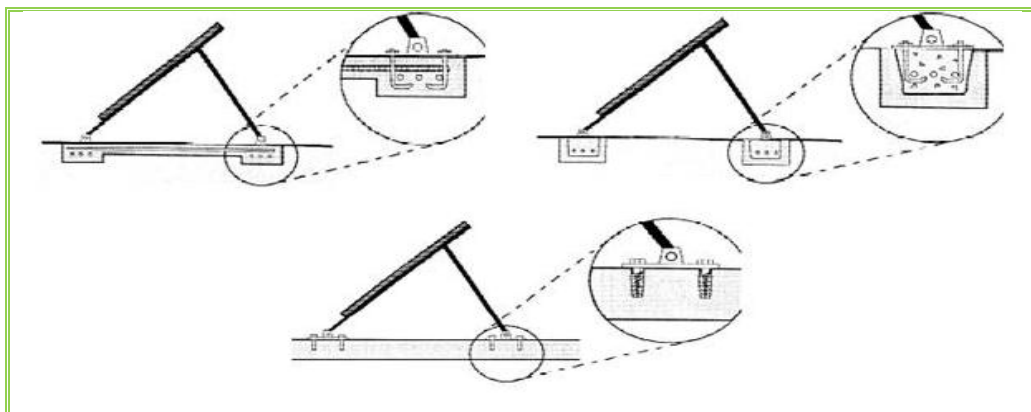
Se sujetan los paneles al soporte usando tornillos con una combinación de golilla plana con golilla de retención (golilla partida o en estrella), para evitar que la tuerca se afloje. Apartando el marco y el panel si los metales son distintos. Para aislar el tornillo usamos uno de diámetro menor al de la perforación y aislarlo con cinta aislante o un tubo de plástico. Utilizamos golillas aislantes entre la cabeza

del tornillo y el marco, entre la arandela plana y el soporte, como se muestra en figura.



**Figura 12.** Esquema de ajuste para los paneles solares  
**Fuente.** (Antusol, 2010)

El soporte deberá estar firmemente anclado al piso (o techo). En instalaciones al ras del suelo puede usarse una base Hormigón. A continuación se muestran algunas de estas alternativas, como se muestra en figura 13. En regiones donde el viento es intenso, se debe asegurar que la superficie que sirve de anclaje pueda resistir el brazo de palanca que ejercerán los paneles.



**Figura 13.** Anclaje de soportes  
**Fuente.** (Antusol, 2010)

### **3.7.3 Ubicación.**

La ubicación del módulo deberá ser en un sitio despejado, que esté libre de objetos o árboles que puedan provocar sombras, lo más cerca al lugar donde desea instalar el sistema (lámparas o aparatos). Puede ser sobre un poste metálico o de madera, o sobre el techo de la casa, si éste lo permite.

### **3.7.4 Orientación.**

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

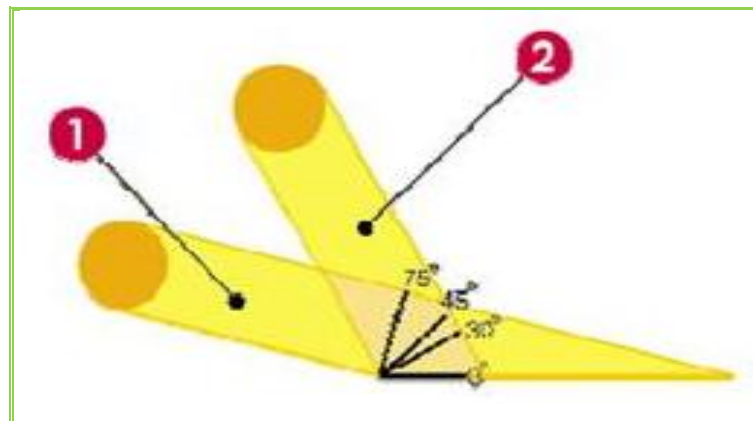
Por lo tanto, en la práctica, los paneles solares deberán ser colocados en ángulo con el plano horizontal (inclinados). Cerca del Ecuador, el panel solar deberá colocarse ligeramente inclinado (casi horizontal) para permitir que la lluvia limpie el polvo.

Una pequeña desviación en la orientación no influye significativamente en la generación de electricidad, ya que durante el día el sol se traslada en el cielo de este a oeste.

### **3.7.5 Ángulo de Inclinación.**

El sol se desplaza en el cielo de este a oeste. Los paneles solares alcanzan su máxima efectividad cuando están orientados hacia el sol, en un ángulo perpendicular con éste a mediodía. Por lo general, los paneles solares se colocan sobre un techo o una estructura, tienen una posición fija y no pueden seguir la trayectoria del sol en el cielo. Por lo tanto, no estarán orientados hacia el astro con un ángulo óptimo (90 grados) durante toda la jornada. El ángulo entre el plano horizontal y el panel solar se denomina ángulo de inclinación.

Debido al movimiento terrestre alrededor del sol, existen también variaciones estacionales. En invierno, el sol no alcanzará el mismo ángulo que en verano. Idealmente, en verano los paneles solares deberían ser colocados en posición ligeramente más horizontal para aprovechar al máximo la luz solar. Sin embargo, los mismos paneles no estarán, entonces, en posición óptima para el sol del invierno, ver figura 14. Con el propósito de alcanzar un mejor rendimiento anual promedio, los paneles solares deberán instalarse en un ángulo fijo, determinado en algún punto entre los ángulos óptimos para el verano y para el invierno.



**Figura 14.** Ángulo de inclinación óptimo en invierno y verano 1) sol en invierno, 2) sol de verano.

**Fuente.** (Antusol, 2010)

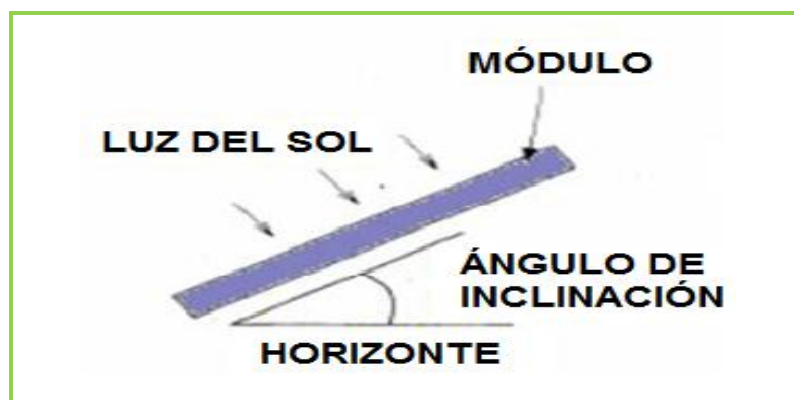
Algunos fabricantes recomiendan que se debe encontrar el punto de producción adecuada en el invierno, con lo que se logrará una generación óptima el resto del año. El ángulo de inclinación es medido entre el panel solar y el plano horizontal, tal como lo muestra la figura. Cada latitud presenta un ángulo de inclinación óptimo. Los paneles deben colocarse en posición horizontal únicamente en zonas cercanas al Ecuador. A continuación se muestra una tabla con ángulos de inclinación recomendados:

**Tabla 6.** Ángulos de inclinación para sistemas fijos

Latitud del lugar (en grados)	Ángulo de inclinación fijo
0° a 15°	15°
15° a 25°	La misma latitud
25° a 30°	Latitud más 5 °
30° a 35°	Latitud más 10 °
35° a 40°	Latitud más 15 °
40° o más	Latitud más 20 °

**Fuente.** (Antusol, 2010)

Los distribuidores en Ecuador recomiendan latitud más 15°, en el hemisferio norte es decir por encima de la línea Ecuatorial, el panel deberá orientarse hacia el sur, y en lado del hemisferio sur el panel será orientado hacia el norte, como norma para todo el territorio. Ligeras desviaciones de unos 5 grados con respecto del ángulo de inclinación óptimo tienen sólo un efecto menor en la producción de energía. Las diferencias a causa de las condiciones climáticas son más importantes en la producción de energía. En el caso de los sistemas autónomos, el ángulo de inclinación óptimo depende del patrón de demanda mensual. (Antusol, 2010)



**Figura 15.** Ángulo de Inclinación

**Fuente.** (Antusol, 2010)

### **3.8 ATLAS SOLAR DEL ECUADOR CON FINES DE GENERACIÓN ELÉCTRICA**

El Ecuador es un país con características topográficas muy variadas, de gran diversidad climática y condiciones únicas que le confieren un elevado potencial de energías renovables y limpias, las cuales no pueden quedar al margen del Inventario de los Recursos Energéticos para Producción Eléctrica, pues las condiciones de cobertura y satisfacción de la demanda que se presentan en la actualidad, demuestran un estrecho vínculo especialmente con la electrificación y energización rural.

El diseño de políticas, estrategias y medidas para incentivar el mayor uso de estas energías limpias que promuevan el desarrollo especialmente en zonas rurales, se fundamenta en su cuantificación, disponibilidad y distribución estacional en el territorio.

En ese sentido, la necesidad de contar con un documento técnico que cumpla con esta exigencia a fin de impulsar el uso masivo de la energía solar como fuente energética es lo que ha motivado al Consejo Nacional de Electricidad, CONELEC, a presentar el “Atlas Solar del Ecuador con fines de Generación Eléctrica”, el cual ha sido elaborado por la Corporación para la Investigación Energética, CIE.

Este Atlas representa el esfuerzo Institucional y profesional que utiliza la ciencia y tecnología para poner a disposición de las instituciones públicas y privadas, la comunidad científica y público en general este valioso documento, que incluye la cuantificación del potencial solar disponible y con posibilidades de generación eléctrica, en base a mapas mensuales de insolación directa, global y difusa y sus correspondientes irradiaciones, con el fin de ubicar proyectos locales más específicos que permitan utilizar esta tecnología para obtener calor y electricidad para diversas aplicaciones como fabricar colectores térmicos y módulos fotovoltaicos.



Con la presentación del Atlas, se aspira que esta contribución, se sume al crecimiento y desarrollo económico y social del País.

### **3.9 INSOLACIÓN**

Cantidad de energía solar que lleva a una superficie, medida en watio/hora/metro cuadrado. La insolación que lleva a la superficie terrestre puede ser directa o difusa. Mientras la insolación directa incide sobre cualquier superficie con único y preciso ángulo de incidencia, la difusa cae en esa superficie con varios ángulos. Cuando la insolación directa no llega a una superficie a causa de la presencia de un obstáculo, el área en sombra no se encuentra completamente a oscuras gracias a la insolación difusa. Por ello, los dispositivos fotovoltaicos pueden funcionar incluso solamente con insolación difusa.

#### **3.9.1 Insolación Difusa**

Radiación proveniente del cielo como resultado de la dispersión de la radiación solar por la atmósfera. Es la radiación solar difundida por la atmósfera (por lo que no llega directamente del sol).

La insolación difusa es aquella recibida de la atmósfera como consecuencia de la dispersión de parte de la radiación del sol en la misma. Esta energía podría suponer aproximadamente un 15% de la insolación en los días soleados, pero en los días nublados, en los cuales la insolación directa es muy baja, la insolación difusa supone un porcentaje mucho mayor. Por otra parte, las superficies horizontales son las que más insolación difusa reciben, ya que ven toda la semiesfera celeste, mientras que las superficies verticales reciben menos porque solo ven la mitad de la semiesfera celeste.

### **3.9.2 Insolación Directa**

Como su propio nombre indica, la que proviene directamente del sol. Es la que recibimos cuando los rayos solares no se difuminan o se desvían a su paso por la atmósfera terrestre. (CONELEC, 2008)

## 4 MATERIALES

**Tabla 7.** Materiales utilizados en la repotenciación del sistema fotovoltaico.

<b>Cantidad</b>	<b>Materiales</b>
1m	Arena
2	Breaker monofásico (15 A)
1	Breaker monofásico (20 A)
1	Caja de breaker
1	Canaleta de lisa simple 60 x 40mm
1	Interruptor
1	Lámpara
1litro	Litro de pintura
1/2 litro	Mata monte
5m	Piedra de 3/4
1	Puerta metálica
1qq	Quintal de cemento
1	Temporizador digital

## 5 PROCESO METODOLÓGICO EMPLEADO

### 5.1 LEVANTAMIENTO DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO

Al observar las fotografías 16 y 17, se puede apreciar el estado anterior del sistema FV, en la figura 16 se ve un armario metálico con una puerta hecha de malla y una cerradura que constaba de una cadena y candado. Se puede apreciar a los lados dos modulares que constan de tres paneles cada uno, el piso donde están asentados es de hormigón rodeado de césped.

El armario contiene 4 baterías, 2 inversores, 1 regulador inversor, 1 regulador y un temporizador de reloj, sus conexiones actuales se muestran en la figura 18 y 19.



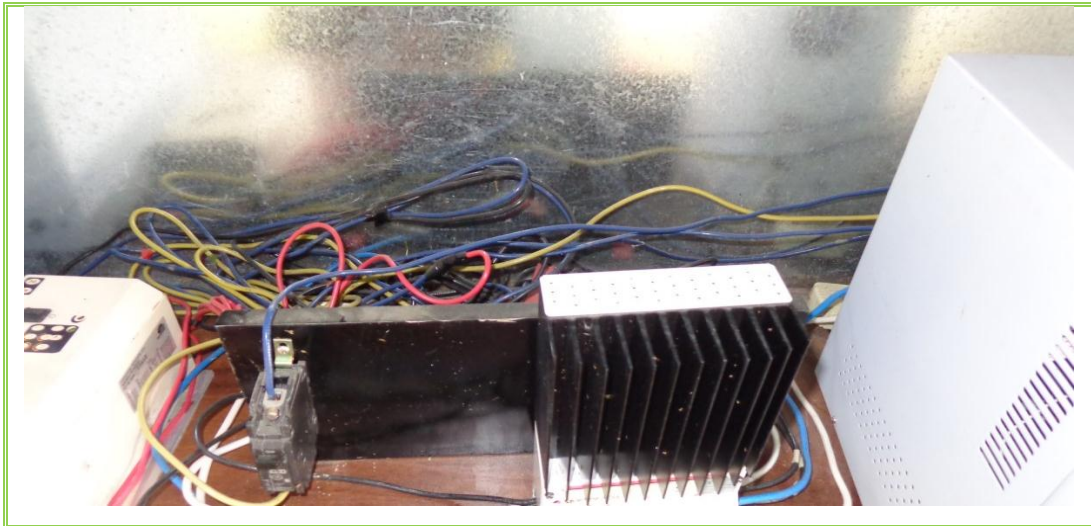
**Figura 16.** Estado anterior del sistema de generación FV

**Fuente.** Autor

En la figura 17 se observa cómo se encontraron los conductores y las conexiones de los equipos del sistema FV, se observó, que los conductores eran demasiado largos y se encontraban de una manera desordenada, con un breaker que servía

para el encendido y apagado de las lámparas, así mismo se denota parte de las conexiones.

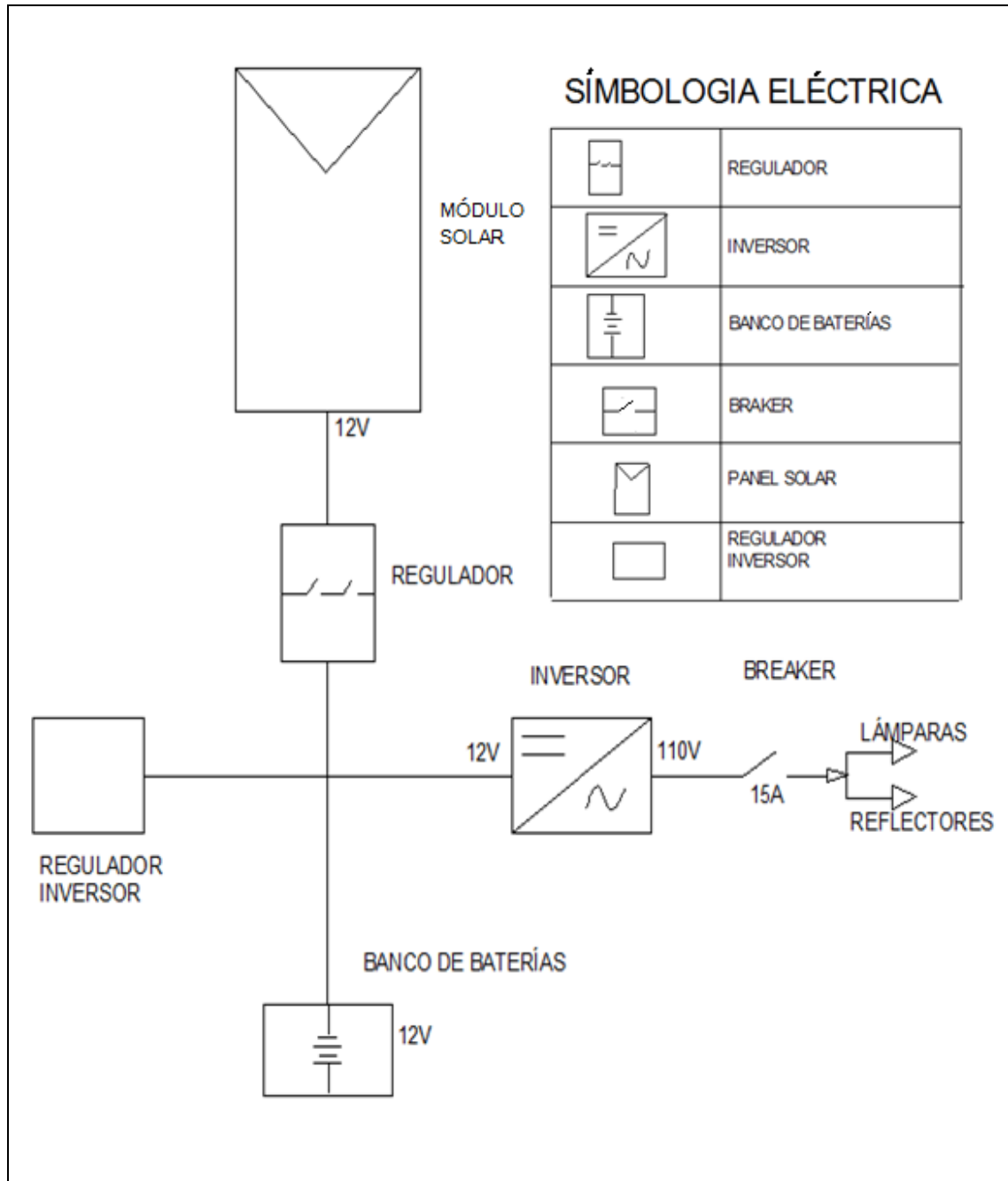
En la parte inferior también se apreció las instalaciones que estaban deterioradas y en mal estado.



**Figura 17.** Estado anterior de los conductores y aparatos del sistema.

**Fuente.** Autor.

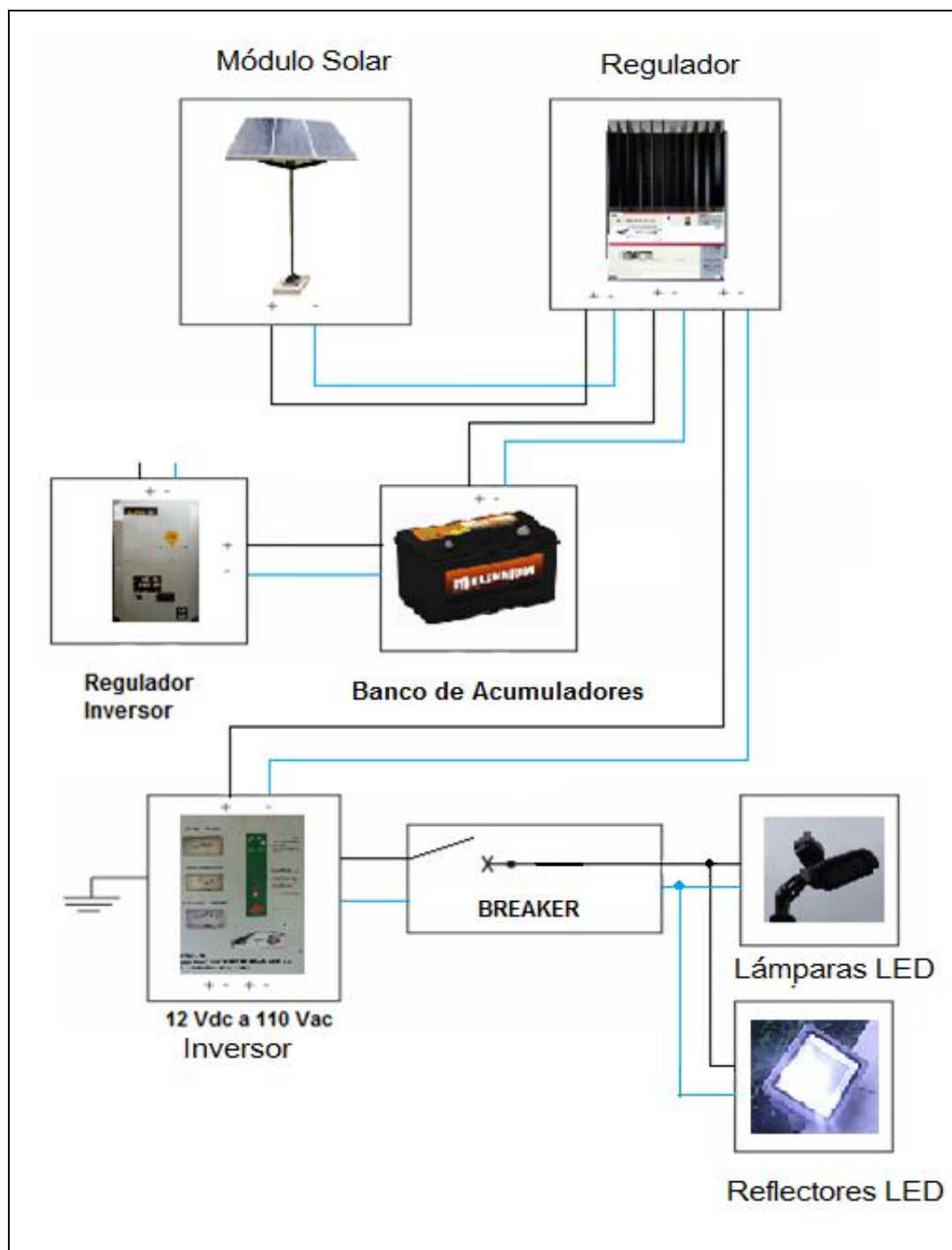
En la figura 18 se detalla el diagrama unifilar que corresponde al levantamiento del sistema FV a repotenciar.



**Figura 18.** Diagrama unifilar del sistema anterior.

**Fuente.** Autor.

En la figura 19 se muestra el esquema eléctrico anterior de los equipos de generación FV



**Figura 19.** Esquema anterior de la Instalación eléctrica.

**Fuente.** Autor.

## 5.2 PROPUESTA PARA LA REPOTENCIACIÓN

El sistema FV, tiene todos los equipos para entrar en funcionamiento. En las figuras 16 hasta la 19 se muestra como estaban las instalaciones del sistema de generación solar. Procediendo a realizar la comprobación de los paneles solares, mediante la medición del voltaje con los instrumentos requeridos, verificando que todos generen 12 V, óptimos para su normal desenvolvimiento; así como el regulador y el inversor de corriente presentaron las condiciones para seguir funcionando en la generación de energía eléctrica; los acumuladores de corriente continua, tiene un estado óptimo para carga y descarga. Llegando a determinar que los equipos del sistema FV, se encuentran en óptimas condiciones y pueden seguir con su normal funcionamiento

Para la repotenciación, se realizó en primer lugar cálculos que se encuentran más adelante determinando si el número de paneles solares en funcionamiento es el adecuado, para abastecer de energía a las lámparas y reflectores de la casa sustentable; o en su defecto corregir el problema del sistema con la potencia de demanda de las cargas instaladas, desde un breve análisis nos demuestra que la carga en energía solar es de 1800 W/h/día.

Para la repotenciación se procedió a colocar una caja de breaker para la protección del conductor de las lámparas, reflectores y por consiguiente proteger el sistema FV, evitando problemas en el funcionamiento posterior del sistema fotovoltaico; el encendido de los reflectores será con un temporizador digital y el de las lámparas mediante la fotocélula interna que contienen.

En lo referente del armario, se lo restauró mediante el pintado y remplazo de las puertas metálicas del mismo, como el adecentamiento de sus alrededores, colocando piedras de  $\frac{3}{4}$  que abarcan el área de generación solar, que consta de 5 metros de largo y 4 metros de ancho, evitando el crecimiento de césped.



El diagrama de la propuesta para la repotenciación del sistema es el que se muestra en la fig 20.

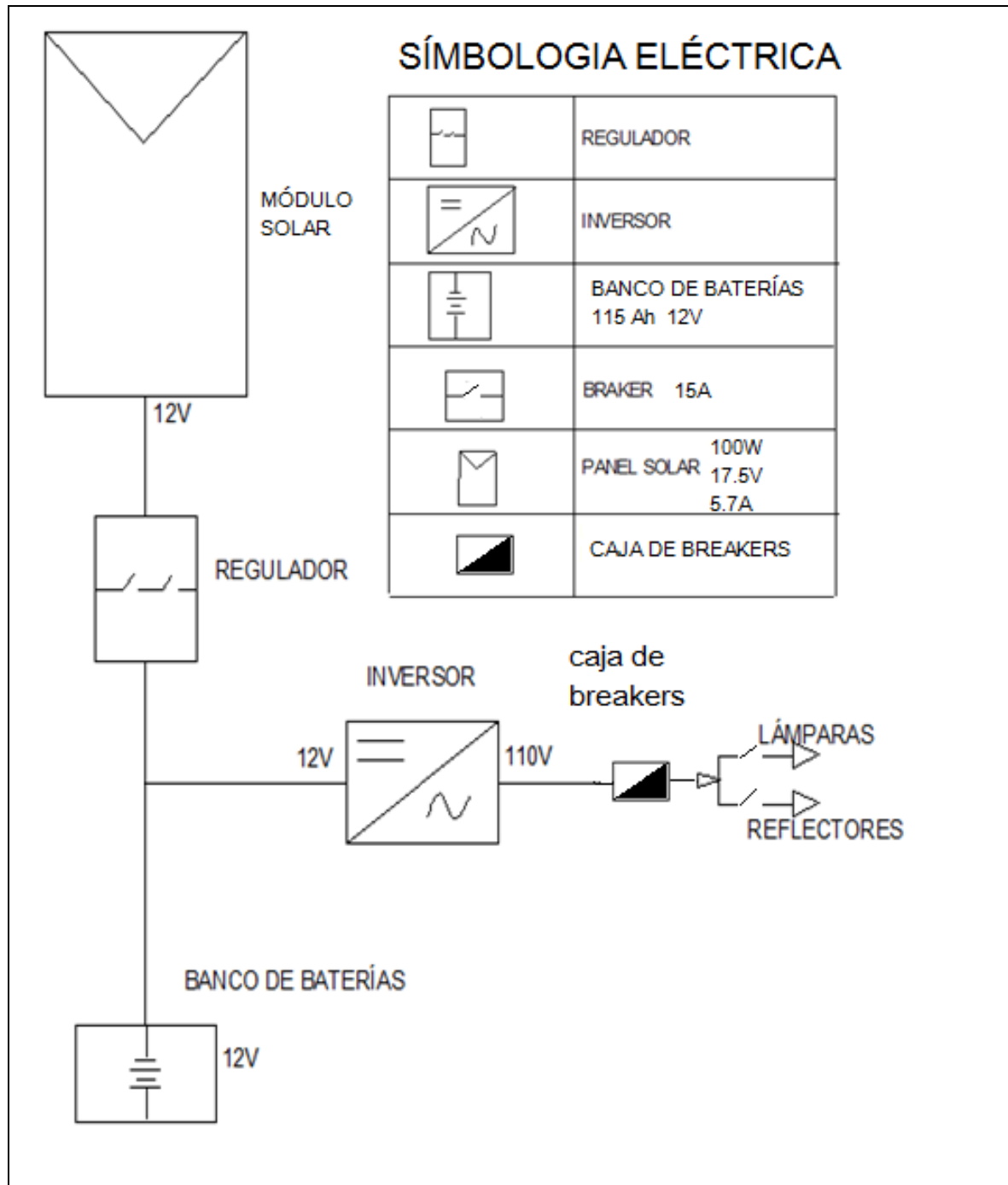


Figura 20. Diagrama unifilar de la propuesta a instalar.

**Fuente.** Autor

## 5.3 EVALUACIÓN DEL SISTEMA ELÉCTRICO

### 5.3.1 Determinación de las cargas en corriente alterna

Se ha tomado como referencia el "atlas solar del Ecuador con fines de generación eléctrica" para realizar los respectivos cálculos. (CONELEC, 2008)

En la zona se registra una insolación difusa anual 2.11 kWh/m<sup>2</sup>/día, valor obtenido a través de la información del Atlas Solar al dividirlo entre 1000, pues las unidades de insolación del Atlas se encuentra en Wh/m<sup>2</sup>/día.

Para iniciar los cálculos del sistema fotovoltaico, en la tabla número 8 se tiene los datos principales a utilizar para realizar los cálculos correspondientes para el sistema de generación, en la primera columna de la tabla 8 se tiene el nombre de los artefactos, la segunda columna contiene la cantidad de lámparas a utilizar seguido de la potencia de cada luminarias, la cuarta columna contiene el uso de horas día son las horas que los artefactos van a estar en funcionamiento horas que se proponga a utilizar en este caso se propuso 4 horas de funcionamiento.

**Tabla 8.** Tabla sobre la determinación de las cargas de corriente alterna

Artefactos CA	Cantidad	Potencia (W)	Uso (horas/días)	Energía Wh/día C*P*U	Carga Pico
Lámparas LED	2	195	4	1560	0
Reflectores LED	2	30	4	240	
Total				1800Wh/día	

En la quinta columna se aprecia la transformación de la cantidad de artefactos por la potencia y por el número de horas a funcionar en energía solar Wh/día. La carga pico que no obtiene valor es la energía solar Wh/día de las cargas en corriente directa si se utilizara aparatos que funcionen en corriente directa, dato

importante a utilizar en el cálculo para la carga máxima que se detalla más adelante.

La carga corriente alterna total diaria, se cálculo mediante la multiplicación de la cantidad de artefactos por la potencia y por el uso de horas, que a continuación se detalla en la ecuación 1 para la potencia de las lámparas y en la ecuación 2 para para la potencia de los reflectores.

(Ecuación 1)

C= cantidad de artefactos

P= potencia de los artefactos

h= uso de los artefactos (horas/ día)

E1= carga CA diaria Wh/día (lámparas)

E2= carga CA diaria Wh/día (reflectores)

$$E1 = C * P * h$$

$$E1 = 2 * 195W * 4 \text{ hora/día}$$

$$E1 = 1560 \text{ Wh/día}$$

(Ecuación 2)

$$E2 = C * P * h$$

$$E2 = 2 * 30W * 4 \text{ hora/día}$$

$$E2 = 240 \text{ Wh/día}$$

La suma de las cargas E1 y E2 se concluye, Et= carga CA total diaria Wh/día

(Ecuación 3)

$$Et = Ec.1 + Ec.2$$

$$Et = 1560 \text{ W/h/día} + 240 \text{ Wh/día}$$

$$Et = 1800 \text{ W/h/día}$$

El total de cargas en CA se transforman en CD para estandarizar los cálculos posteriores, el **factor 1,2** representa las pérdidas del inversor de voltaje.

E= carga CD total diaria

(Ecuación 4)

$$E = E * 1,2$$

$$E = 1800 \text{ Wh/día} * 1,2$$

$$E = 2160 \text{ Wh/día}$$

La carga máxima pico (Pp) se sustrae de la multiplicación de la cantidad de artefactos (C) por la potencia (P) y sumatoria de la carga pico. La carga CD diaria y la carga pico será cerro, al no utilizar aparatos que trabajen directamente con corriente directa utilizando los datos para demostrar los parámetro estandarizados en las ecuaciones.

Pp= carga máxima pico

Cp= carga pico

(Ecuación 5)

$$Pp = C * P + Cp$$

$$Pp = 2 * 225 + 0$$

$$Pp = 450 \text{ W}$$

### 5.3.2 Corriente pico del módulo

Se toma en cuenta cargas totales de CD más cargas totales CA, en este caso solo se tiene cargas CA que vendría a ser únicamente **2160 Wh/día**.

La tensión CD del sistema se ha tomado como referencia **12 V**

Us = tensión del sistema en corriente continua

(Ecuación 6)

$$I = E/Us$$

$$I = 2160 \text{ Wh/día} / 12\text{V}$$

$$I = 180 \text{ Ah}$$

Se aplica el factor de seguridad 1,2 por pérdidas de corriente que sufre el sistema FV

Quedando una corriente corregida ( $I_c$ ).

(Ecuación 7)

$$I_c = I * 1,2$$

$$I_c = 180Ah * 1,2V$$

$$I_c = 216 Ah$$

La corriente pico del sistema es igual a (corriente total  $I_t$ ), para determinar la I.T. se aplicó los datos de radiación solar que se puede obtener a través de los mapas del atlas solar o también se puede encontrar en internet la información emitida de la NASA en, irradiación solar.

**Tabla 9. Datos de la NASA de la irradiación directa y difusa de todos los meses del año**

Monthly Averaged Radiation Incident On An Equator-Pointed Tilted Surface (kWh/m <sup>2</sup> /day)													
Lat -3.991 Lon -79.205	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Annual Average
SSE HRZ	4.83	4.80	5.19	4.88	4.65	4.59	4.65	4.93	5.18	4.95	5.26	5.07	4.91
K	0.46	0.45	0.49	0.48	0.49	0.51	0.51	0.51	0.50	0.47	0.50	0.49	0.49
Diffuse	2.23	2.33	2.31	2.13	1.92	1.78	1.83	2.00	2.19	2.31	2.19	2.16	2.11
Direct	3.84	3.53	4.07	3.98	4.17	4.45	4.38	4.33	4.24	3.74	4.48	4.35	4.13
Tilt 0	4.76	4.73	5.12	4.82	4.60	4.55	4.60	4.87	5.11	4.88	5.18	4.99	4.85
Tilt 3	4.80	4.75	5.12	4.86	4.67	4.64	4.68	4.93	5.13	4.89	5.22	5.04	4.89
Tilt 18	4.86	4.72	4.96	4.91	4.89	4.96	4.96	5.06	5.05	4.82	5.28	5.16	4.97
Tilt 90	2.43	2.07	1.71	2.34	2.87	3.20	3.07	2.63	1.96	1.95	2.50	2.65	2.45
OPT	4.87	4.76	5.12	4.92	4.91	5.05	5.02	5.06	5.13	4.90	5.29	5.16	5.02
OPT ANG	15.0	8.00	1.00	14.0	25.0	30.0	28.0	19.0	6.00	6.00	14.0	18.0	15.3

**Fuente.** (Kusterer, John M, 2015)

Para calcular la corriente total ( $I_t$ ) se divide la corriente corregida para la radiación solar para este caso se basó en la tabla 9 acogiendo  $3.53 \text{ kWh/m}^2/\text{día}$  dato del mes más desfavorable del año en radiación directa.

(Ecuación 8)

$$I_t = I_c * 4.13 \text{ kWh/m}^2/\text{día}$$
$$I_t = 216 \text{ Ah}/3.53 \text{ kWh/m}^2/\text{día}$$
$$I_t = \mathbf{61.1 \text{ A}}$$

### 5.3.3 Dimensionamiento del módulo fotovoltaico

Permitió obtener el número total de los paneles solares requeridos para el adecuado funcionamiento del sistema fotovoltaico, para lo cual se presenta a continuación los datos necesarios para la correcta aplicación.

El arreglo de módulos es igual a la corriente total dividido para la corriente pico del panel solar

$I_{mp} = 5.17$  corriente pico del panel solar

$U_{ns} = 17.5$  tensión nominal del sistema del panel solar

$I_t = 61.1 \text{ A}$  corriente total

(Ecuación 9)

$$\text{Arreglo de módulos} = I_t / I_{mp}$$
$$\text{Arreglo de módulos} = 61.1 \text{ A} / 5.17 \text{ A}$$
$$\text{Arreglo de módulos} = \mathbf{11.8 \text{ A}}$$

El número total de paneles es igual a la tensión del sistema dividido para la tensión nominal del sistema del panel solar y por el arreglo de módulo.

$N_{tp} =$  número total de paneles

$U_{ns} = 17.5 \text{ V}$  tensión nominal del sistema del panel solar

$U_s = 12 \text{ V}$  tensión del sistema

(Ecuación 10)

$$N_{tp} = \frac{U_s}{U_{ns}} = \text{resultado} * \text{Arreglo de módulos}$$
$$N_{tp} = \frac{12V}{U_{17.5V}} = 0.6 * 11.8A = \mathbf{7.8 \text{ paneles solares}}$$
$$N_{tp} = \mathbf{8 \text{ paneles solares}}$$

#### 5.3.4 Dimensionamiento del banco de baterías

Permitió obtener el número total de baterías requerida para el adecuado funcionamiento del sistema fotovoltaico, para el siguiente cálculo se tomó en cuenta los siguientes parámetros.

$I_c = 216Ah$

Días de autonomía, considerando 2 días.

Profundidad de descarga no menos de 40% de descarga se toma de acuerdo al catálogo de las baterías.

La capacidad nominal del banco de baterías es igual a la corriente corregida por los días de autonomía, días que puede reservar energía las baterías.

(Ecuación 11)

$$\text{capacidad nominal banco de baterías} = I_c * \text{días de autonomía}$$

$$\text{capacidad nominal banco de baterías} = 216Ah * 2$$

$$\text{capacidad nominal banco de baterías} = \mathbf{432Ah}$$

La capacidad corregida de banco de baterías es igual a la capacidad nominal banco de batería dividido para la profundidad de descarga.

(Ecuación 12)

$$\text{capacidad corregida banco de baterías} = \frac{\text{capacidad nominal b.b}}{\text{profundidad de descarga}}$$

$$\text{capacidad corregida banco de baterías} = 432Ah/0.4$$

$$\text{capacidad corregida banco de baterías} = \mathbf{172.8Ah}$$

Capacidad nominal de las baterías, según el catálogo de las baterías (115 Ah).

El arreglo de las baterías en paralelo es igual a la capacidad corregida banco de baterías dividido para la capacidad de las baterías

(Ecuación 13)

$$\text{Arreglo de baterías en paralelo} = 172Ah/115Ah$$

$$\text{Arreglo de baterías en paralelo} = 1.4 = 2 \text{ batería}$$

Tensión CD nominal del sistema 12V

Tensión CD nominal de batería (información del catálogo) 12V

El arreglo de baterías en serie es igual a la tensión CD nominal del sistema para la tensión CD nominal de baterías

(Ecuación 14)

$$\text{Arreglo de baterías en serie} = 12V/12V$$

$$\text{Arreglo de baterías en serie} = 1V$$

El número total de baterías (Ntb) se sustrae de la multiplicación del arreglo de baterías en paralelo con el arreglo de baterías en serie

(Ecuación 15)

$$Ntb = \text{Arreglo de baterías en paralelo} * \text{Arreglo de baterías en serie}$$

$$Ntb = 1.4 \text{ baterías} * 1V$$

$$Ntb = 1.4 \text{ baterías}$$



#### 5.4 TABLAS DE CÁLCULOS SEGÚN EL “ATLAS SOLAR DEL ECUADOR CON FINES DE GENERACIÓN ELÉCTRICA”

Luego de haber aplicado las ecuaciones que permitieron determinar si los números de paneles y acumuladores son los requeridos para el correcto desempeño de las lámparas LED de la entrada de la casa sustentable, se realizaron las tablas de cálculos.

Para simplificar las operaciones se realizaron tablas de cálculos que ayuden más rápido a la adquisición de datos que son necesarios para poder ver y comparar los resultados obtenidos de las tablas que se encuentran más adelante se realizó los cálculos con la energía total (Et) y la corriente corregida (Ic), las tablas son para determinar el número de paneles que realmente necesita el sistema FV.

En las tablas de los cálculos están realizados de acuerdo a cada uno de los meses del año y el promedio anual que se requiere, para ello se calculó la radiación solar emitida en cada mes, ya que varía en cada uno de estos, es decir no mantienen radiación constante o igual para cada mes. Es necesario diferenciar la radiación solar difusa y directa la cual esta explicada en las tablas.

En la tabla 9 como la tabla 10 referentes a la radiación solar difusa y directa. Se encuentra en las últimas columnas el número total de paneles que se necesita en cada mes, para un óptimo desempeño eléctrico que abastezca eficientemente a toda la planta de generación eléctrica del sistema solar. Para el resultado obtenido del número de paneles en todos los meses de las tablas, se utilizó la ecuación 10.

$$Ntp = \frac{Us}{Uns} = \text{resultado} * \text{Arreglo de módulos}$$

$$Ntp = \frac{12V}{(U17.5V) \text{ o } (12V)} = 00 * 00A$$

$$Ntp = \mathbf{0 \text{ paneles solares}}$$

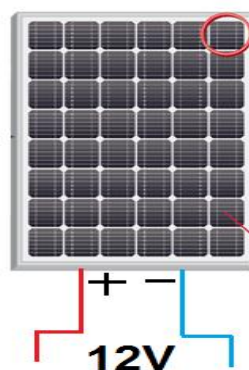
Se ha tomado la tensión nominal del sistema del panel, se amplió los resultados tomando como referencia a la tensión nominal de las características técnicas del panel y la tensión nominal de servicio del panel, en la figura 21 se muestra el valor a utilizar 17.5V perteneciente a la columna de color café dato importante del panel solar para realizar los cálculos correspondiente al número de paneles.

Photovoltaic Module	
Module Type:	100P
Rated Maximum Power:	100W
Open- Circuit Voltage (Voc):	22.0V ±0.5
Short- Circuit Current (Isc):	5.41A ±0.1
Voltage At Pmax (Vmp):	17.5V ±0.5
Current At Pmax (Imp):	5.71A ±0.1
Output Tolerance:	±3%
Maximum System Voltage:	1000V
Module Size:	1170*670*35(mm)
According to STC (1000w/m <sup>2</sup> , AM1.5, Cell temperature 25°C)	

**Figura 21.** Características de los paneles

**Fuente.** Autor

De la figura 22 el valor a utilizarse fue de 12V el cual representa el voltaje que este genera, ambos datos se ven reflejados en los totales de las tablas presentadas. Estos cálculos se difieren ya que en la segunda columna no presenta los mismos datos para su elaboración debido a la variación de voltajes utilizados para la determinación de paneles a utilizarse durante todo el año.



**Figura 22.** Voltaje que emite el panel solar

**Fuente.** Autor

En la tabla 9 se puede ver los datos de los cálculos realizados para cada mes del año y un promedio anual tomando en cuenta solo la radiación difusa con una  $I_c$  de 216 Ah, energía total necesaria para el encendido de las luminarias.

#### 5.4.1 Cálculo general para la potencia requerida

**Tabla 9.** Datos del número de paneles para el sistema FV con radiación difusa.

DIMENSIONAMIENTO DEL MÓDULO FOTOVOLTAICO							
En radiación difusa							
Meses	$I_c$	Datos de irradiación difusa	$I_t$	$I$ pico del panel	Arreglo de paneles en paralelo	Número total de paneles	Número total de paneles
	Ah	kWh/m <sup>2</sup> /día	A	A		12V/12V=1	12V/17.5V=0.69
Enero	216	2,23	96,86	5,17	17	17	12
Febrero	216	3,33	64,86	5,17	16	16	11
Marzo	216	2,31	92,7	5,17	16	16	11
Abril	216	2,13	93,51	5,17	18	18	12
Mayo	216	1,92	112,50	5,17	20	20	14
Junio	216	1,78	121,35	5,17	21	21	15
Julio	216	1,83	118,03	5,17	21	21	14
Agosto	216	2,00	108,00	5,17	19	19	13
Septiembre	216	2,19	98,63	5,17	17	17	12
Octubre	216	2,31	93,51	5,17	16	16	11
Noviembre	216	2,19	98,63	5,17	17	17	12
diciembre	216	2,16	100,0	5,17	18	18	12
Promedio Anual	216	2,11	102,37	5,17	18	18	12

**Fuente.** Autor

En la tabla 10 se puede observar los datos de los cálculos realizados para cada mes del año y un promedio anual tomando en cuenta la radiación directa con una  $I_c$  de 216 Ah energía total necesaria para el encendido de las luminarias.

**Tabla 10.** Datos del número de paneles para el sistema FV con radiación directa.

DIMENSIONAMIENTO DEL MÓDULO FOTOVOLTAICO							
En radiación directa							
Meses	Ic	Datos de irradiación directa	It	I pico del panel	Arreglo de paneles en paralelo	Número total de paneles	Número total de paneles
	Ah	kWh/m <sup>2</sup> /día	A	A		12V/12V=1	12V/17.5V=0.69
Enero	216	3,84	96,86	5,17	10	10	7
Febrero	216	3,53	64,86	5,17	11	11	7
Marzo	216	1,07	93,51	5,17	9	9	6
Abril	216	3,98	54,3	5,17	10	10	7
Mayo	216	4,17	51,8	5,17	9	9	6
Junio	216	4,45	48,5	5,17	9	9	6
Julio	216	4,38	49,3	5,17	9	9	6
Agosto	216	4,33	49,9	5,17	9	9	6
Septiembre	216	4,24	50,9	5,17	9	9	6
Octubre	216	3,74	57,8	5,17	10	10	7
Noviembre	216	4,48	48,2	5,17	8	8	6
diciembre	216	4,35	49,7	5,17	9	9	6
Promedio Anual	216	4,13	52,3	5,17	9	9	6

**Fuente.** Autor

#### 5.4.2 Cálculo para el banco de baterías.

En diferentes tablas se simplificó las ecuaciones como en las tablas 11 y 12 según el cálculo realizado en las mismas, desde la ecuación 11 hasta la 15, están realizadas para diferentes tipos de situaciones, como es la de los días de autonomía, es decir en donde las baterías pueden emitir energía sin que los paneles solares produzcan energía recargando las baterías, para la tabla 11 se ha tomado como referencia 2 días y para la tabla 12 se consideró 3 días, también se puede decir que en el cálculo es importante la profundidad de descarga que puede tener una batería. Para este caso se tomó como referencia un 40% y 60% de profundidad de descarga. Con estos datos y la carga total se determina el número de acumuladores.

En la tabla 11 se puede observar los datos de los cálculos realizados para el número de acumuladores con dos días de autonomía, en la parte de color amarillo se realizó el cálculo con un 40% y en parte de color café se realizó con un 60% se tomó en cuenta una  $I_c$  de 216 Ah energía total necesaria para el encendido de las luminarias.

**Tabla 11.** Datos del número del banco de baterías para el sistema FV con 2 días de autonomía.

DIMENSIONAMIENTO DEL BANCO DE BATERÍAS con 2 días de autonomía					
$I_c$	capacidad nominal (216*2)	Profundidad de descarga (432/0.4)	Profundidad de descarga (432/0.6)	Número de baterías (1080/115)	Número de baterías (720/115)
216 Ah	432 Ah	1080 Ah	720 Ah	9	6

**Fuente.** Autor

En la tabla 12 se puede observar los datos de los cálculos realizados para el número de acumuladores con tres días de autonomía, en donde se utilizan los mismos datos de la elaboración de la tabla 11 para la parte de color amarillo un 40% y en la parte de color café un 60% y la misma energía q necesitan las iluminarias.

**Tabla 12.** Datos del número del banco de baterías para el sistema FV con 3 días de autonomía.

DIMENSIONAMIENTO DEL BANCO DE BATERÍAS con 3 días de autonomía					
$I_c$	capacidad nominal (216*3)	Profundidad de descarga (648/0.4)	Profundidad de descarga (648/0.6)	Número de baterías (1620/115)	Número de baterías (1080/115)
216 Ah	648 Ah	1620 Ah	1080 Ah	14	9

**Fuente.** Autor

### 5.4.3 Cálculo solo para la potencia de las lámparas

En la tabla 13 se puede ver los datos de los cálculos realizados para cada mes del año y un promedio anual tomando en cuenta solo la radiación difusa con una  $I_c$  de 187,2 Ah energía necesaria para el encendido exclusivamente de las lámparas.

**Tabla 13.** Datos del número de paneles exclusivamente de las lámparas con radiación difusa.

DIMENSIONAMIENTO DEL MÓDULO FOTOVOLTAICO							
En radiación difusa							
Meses	$I_c$	Datos de irradiación difusa	$I_t$	$I$ pico del panel	Arreglo de paneles en paralelo	Número total de paneles	Número total de paneles
	Ah	kWh/m <sup>2</sup> /día	A	A		12V/12V=1	12V/17.5V=0.69
Enero	187,2	2,23	83,9	5,17	15	15	10
Febrero	187,2	3,33	80,3	5,17	14	14	10
Marzo	187,2	2,31	81,0	5,17	14	14	10
Abril	187,2	2,13	87,9	5,17	15	15	11
Mayo	187,2	1,92	97,5	5,17	17	17	12
Junio	187,2	1,78	105,2	5,17	18	18	13
Julio	187,2	1,83	102,3	5,17	18	18	12
Agosto	187,2	2,00	93,6	5,17	16	16	11
Septiembre	187,2	2,19	85,5	5,17	15	15	10
Octubre	187,2	2,31	81,0	5,17	14	14	10
Noviembre	187,2	2,19	85,5	5,17	15	15	10
diciembre	187,2	2,16	86,7	5,17	15	15	10
Promedio Anual	187,2	2,11	88,7	5,17	16	16	11

**Fuente.** Autor

En la tabla 14 se puede observar los datos de los cálculos realizados para cada mes del año y un promedio anual tomando en cuenta la radiación directa con una  $I_c$  de 187,2 Ah energía necesaria para el encendido exclusivamente de las lámparas.

**Tabla 14.** Datos del número de paneles exclusivamente de las lámparas con radiación directa.

DIMENSIONAMIENTO DEL MÓDULO FOTOVOLTAICO							
En irradiación directa							
Meses	Ic	Datos de irradiación directa	It	I pico del panel	Arreglo de paneles en paralelo	Número total de paneles	Número total de paneles
	Ah	kWh/m <sup>2</sup> /día	A	A		12v/12v=1	12V/17.5V=0.69
Enero	187,2	3,84	48,8	5,17	9	9	6
Febrero	187,2	3,53	53,0	5,17	9	9	6
Marzo	187,2	1,07	46,0	5,17	8	8	6
Abril	187,2	3,98	47,0	5,17	8	8	6
Mayo	187,2	4,17	44,9	5,17	8	8	5
Junio	187,2	4,45	42,1	5,17	7	7	5
Julio	187,2	4,38	42,7	5,17	7	7	5
Agosto	187,2	4,33	43,2	5,17	8	8	5
Septiembre	187,2	4,24	44,2	5,17	8	8	5
Octubre	187,2	3,74	50,1	5,17	9	9	6
Noviembre	187,2	4,48	41,8	5,17	7	7	5
diciembre	187,2	4,35	43,0	5,17	8	8	5
Promedio Anual	187,2	4,13	45,3	5,17	8	8	5

**Fuente.** Autor

En las tablas 15 y 16 se ha realizado los datos para el dimensionamiento exclusivamente para el consumo de la energía de las lámparas tomando en cuenta 2 y 3 días de autonomía, también para este caso se tomó 40 y 60% de profundidad de descarga.

**Tabla 15.** Datos del número del banco de baterías exclusivamente de las lámparas con 2 días de autonomía.

DIMENSIONAMIENTO DEL BANCO DE BATERÍAS					
con 2 días de autonomía					
Ic	capacidad nominal (187.2*2)	Profundidad de descarga (374,4/0.4)	Profundidad de descarga (374,4/0.6)	Número de baterías (936/115)	Número de baterías (624/115)
187.2 Ah	374,4 Ah	936 Ah	624 Ah	8	5

**Fuente.** Autor

**Tabla 16.** Datos del número del banco de baterías exclusivamente de las lámparas con 3 días de autonomía.

DIMENSIONAMIENTO DEL BANCO DE BATERÍAS con 3 días de autonomía					
Ic	capacidad nominal (187.2*3)	Profundidad de descarga (561,6/0.4)	Profundidad de descarga (561,6/0.6)	Número de baterías (1404/115)	Número de baterías (936/115)
187.2 Ah	561,6 Ah	1404 Ah	936 Ah	12	8

**Fuente.** Autor

#### 5.4.4 Cálculo solo para la potencia de los reflectores

En la tabla 17 se puede ver los datos de los cálculos realizados para cada mes del año y un promedio anual tomando en cuenta solo la radiación difusa con una Ic de 28,8 Ah energía necesaria para el encendido solo de los reflectores.

**Tabla 17.** Datos del número de paneles para los reflectores con radiación difusa.

DIMENSIONAMIENTO DEL MÓDULO FOTOVOLTAICO En radiación difusa							
Meses	Ic	Datos de irradiación difusa	It	I pico del panel	Arreglo de paneles en paralelo	Número total de paneles	Número total de paneles
	Ah	kWh/m <sup>2</sup> /día	A	A		12V/12V=1	12V/17.5V=0.69
Enero	28,8	2,23	12,9	5,17	2	2	2
Febrero	28,8	3,33	12,4	5,17	2	2	1
Marzo	28,8	2,31	12,5	5,17	2	2	1
Abril	28,8	2,13	13,5	5,17	2	2	2
Mayo	28,8	1,92	15,0	5,17	3	3	2
Junio	28,8	1,78	16,2	5,17	3	3	2
Julio	28,8	1,83	15,7	5,17	3	3	2
Agosto	28,8	2,00	14,4	5,17	3	3	2
Septiembre	28,8	2,19	13,2	5,17	2	2	2
Octubre	28,8	2,31	12,5	5,17	2	2	1
Noviembre	28,8	2,19	13,2	5,17	2	2	2
diciembre	28,8	2,16	13,3	5,17	2	2	2
Promedio Anual	28,8	2,11	13,6	5,17	2	2	2

**Fuente.** Autor



En la tabla 18 se puede observar los datos de los cálculos realizados para cada mes del año y un promedio anual tomando en cuenta la radiación directa con una  $I_c$  de 28,8 Ah energía necesaria para el encendido solo de los reflectores.

**Tabla 18.** Datos del número de paneles para los reflectores con radiación directa.

DIMENSIONAMIENTO DEL MÓDULO FOTOVOLTAICO							
En radiación directa							
Meses	$I_c$	Datos de irradiación directa	$I_t$	$I$ pico del panel	Arreglo de paneles en paralelo	Número total de paneles	Número total de paneles
	Ah	kWh/m <sup>2</sup> /día	A	A		12V/12V=1	12V/17.5V=0.69
Enero	28,8	3,84	7,5	5,17	1	1	1
Febrero	28,8	3,53	8,2	5,17	1	1	1
Marzo	28,8	1,07	7,1	5,17	1	1	1
Abril	28,8	3,98	7,2	5,17	1	1	1
Mayo	28,8	4,17	6,9	5,17	1	1	1
Junio	28,8	4,45	6,5	5,17	1	1	1
Julio	28,8	4,38	6,6	5,17	1	1	1
Agosto	28,8	4,33	6,7	5,17	1	1	1
Septiembre	28,8	4,24	6,8	5,17	1	1	1
Octubre	28,8	3,74	7,7	5,17	1	1	1
Noviembre	28,8	4,48	6,4	5,17	1	1	1
diciembre	28,8	4,35	6,6	5,17	1	1	1
Promedio Anual	28,8	4,13	7,0	5,17	1	1	1

**Fuente.** Autor

En las tablas 19 y 20 se ha realizado los cálculos para el dimensionamiento exclusivamente para el consumo de la energía de las lámparas tomando en cuenta 2 y 3 días de autonomía, también para este caso se tomó 40 y 60% de profundidad de descarga.

**Tabla 19.** Datos del número del banco de baterías para los reflectores con 2 días de autonomía.

DIMENSIONAMIENTO DEL BANCO DE BATERÍAS con 2 días de autonomía					
Ic	capacidad nominal (28,8*2)	Profundidad de descarga (57,6/0.4)	Profundidad de descarga (57,6/0.6)	Número de baterías (144/115)	Número de baterías (144/115)
28,8 Ah	57,6 Ah	144 Ah	96 Ah	1	1

**Fuente.** Autor

**Tabla 20.** Datos del número del banco de baterías para los reflectores con 3 días de autonomía.

DIMENSIONAMIENTO DEL BANCO DE BATERÍAS con 3 días de autonomía					
Ic	capacidad nominal (28,8*3)	Profundidad de descarga (86,4/0.4)	Profundidad de descarga (86,4/0.6)	Número de baterías (216/115)	Número de baterías (144/115)
28,8 Ah	86,4 Ah	216 Ah	144 Ah	2	1

**Fuente.** Autor

## 6 RESULTADOS

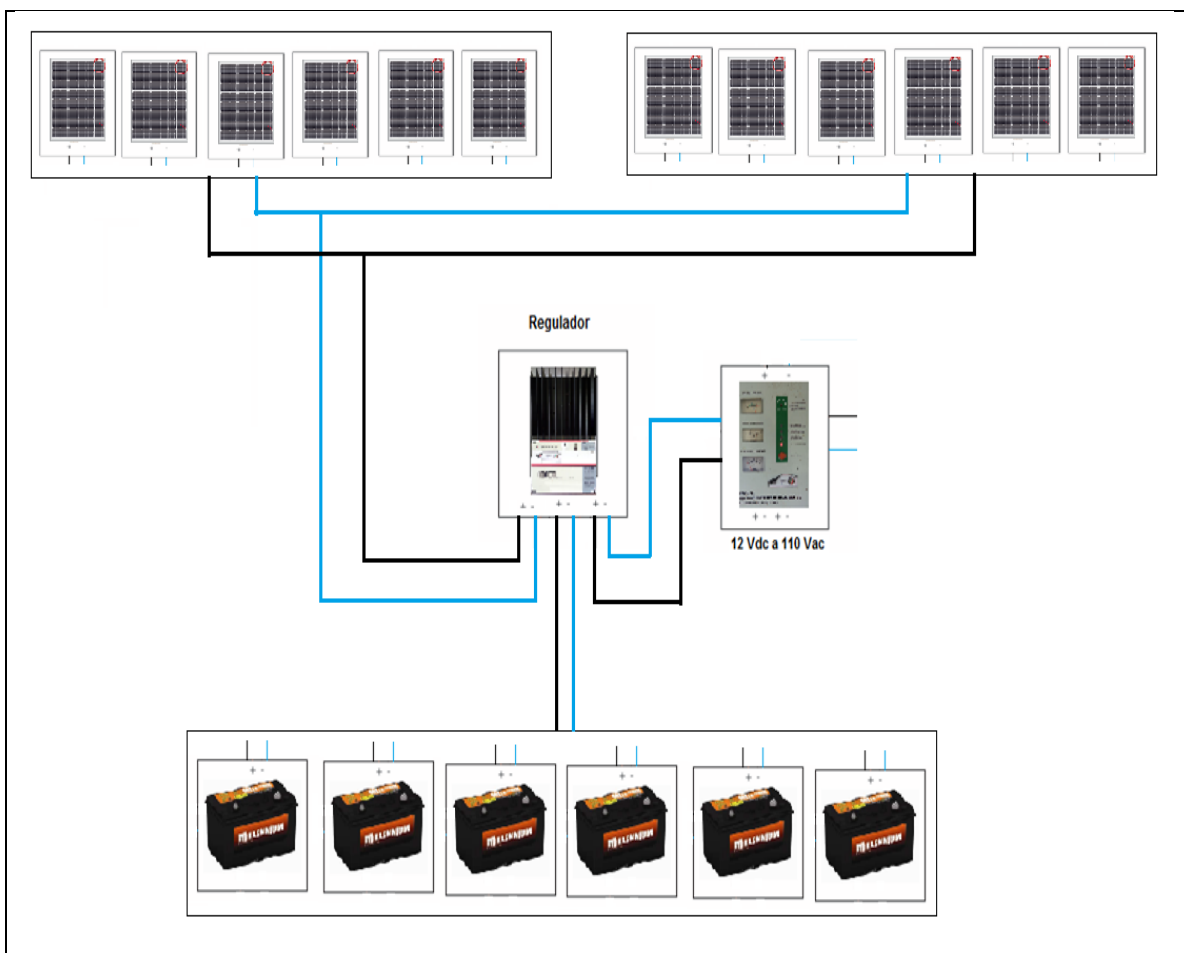
Con la realización de los cálculos y posterior elaboración de las tablas se procedió a comparar las tablas 9 y 10, tomando en cuenta los resultados del promedio anual en la parte de color amarillo y café de las dos tablas, se puede evidenciar que los resultados en la tabla 9 son de **18** paneles en la columna de color amarillo, en la de color café es **12** paneles. Con los resultados de la tabla 10 el número de paneles en la columna de color amarillo es **9** y en la otra columna es **6**, del dimensionamiento del número de paneles para el sistema fotovoltaico que se muestran en las tablas antes indicadas se obtuvo el cálculo con una irradiación difusa, siendo el doble que con un cálculo con radiación directa.

Por consiguiente, considerando los cálculos de las tablas se observa que es necesario aumentar paneles solares en el sistema a repotenciar para poder suministrar suficiente energía a las baterías y a la carga. Al aumentar el número de paneles solares también es necesario aumentar el número de baterías, por la demanda de potencia que requiere el sistema de iluminación según se puede observar en los cálculos de las tablas 11 donde considera dos días de autonomía dando como el resultado 9 baterías en la parte de color amarillo con un 40% de profundidad de descarga y en la columna café se tomó también dos días de autonomía y un 60% de profundidad de descarga para este caso el resultado es 6 baterías, en la tabla 12 se puede observar que se consideró tres días de autonomía y también un 40 y 60%, obteniendo en el primer resultado de la columna amarilla un número de 14 baterías y en la de color café 9 baterías.

Como se ve los resultados de las tablas 13, 14, 15 y 16 para la potencia exclusiva de las lámparas, se puede observar que la potencia es muy alta para el funcionamiento de los 6 paneles y 4 acumuladores instalados.

Por lo que al aumentar tanto paneles solares como acumuladores y tomando en cuenta el resultado promedio anual con una irradiación difusa, se ha considerado los peores casos que pueda suceder para mejorar el sistema FV.

Con lo mencionado anteriormente se tomó el resultado de las tablas 9 y 11 la parte de color café, corresponde al número total de paneles del promedio anual dando como resultado 12 paneles y el número de 6 baterías con 2 días de autonomía y un 60% de profundidad de descarga. Con ello se tendrá un funcionamiento constante de 4 horas para todos los días. En la figura 23 se detalla el esquema como quedaría el sistema FV.

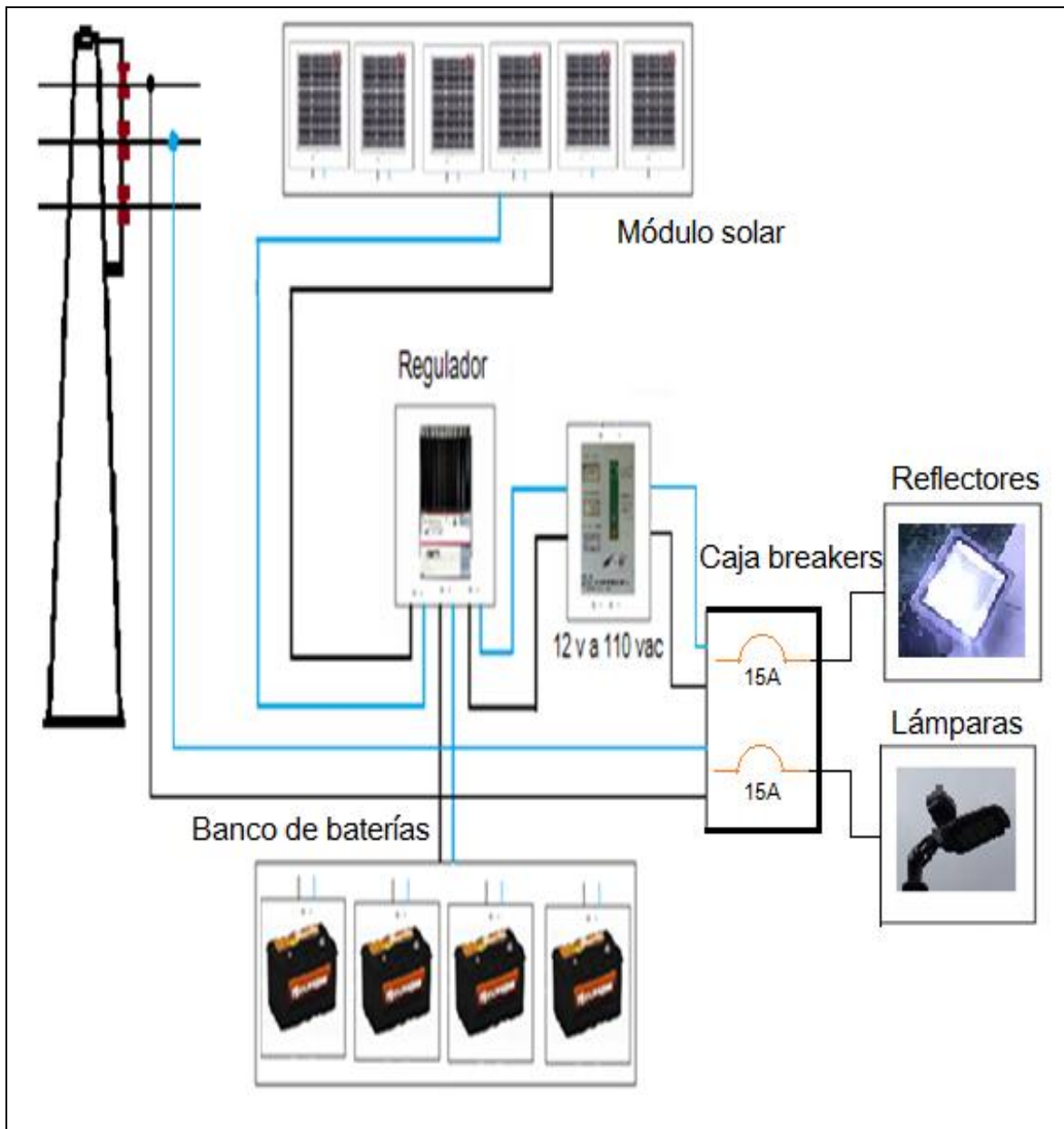


**Figura 23.** Sistema fotovoltaico funcional para la potencia de 1800 Wh/día

**Fuente.** Autor

## **6.1 Propuesta para el funcionamiento del sistema fotovoltaico a repotenciar con un sistema híbrido.**

La energía requerida por el sistema de iluminación es de 1800Wh/día y energía que suministra el banco de baterías es menor a la requerida por el sistema de iluminación se hace necesario la instalación de un sistema híbrido, el cual se lo detalla a continuación: se propone una conexión sencilla y fácil de hacer para la operación del sistema de generación fotovoltaica, presentando una conexión con este sistema y la red eléctrica. La conexión del sistema fotovoltaico funcionaría solo para los reflectores, como muestran los cálculos de las tablas 17, 18, 19 y 20 observando los datos y la energía requerida para los reflectores es de 240 Wh/día, muy baja con respecto a la energía requerida por las lámparas que es de 1560 Wh/día, como consecuencia de esto se puede mantener los reflectores encendidos por más tiempo, siempre y cuando las lámparas se puedan conectar a la red eléctrica ya que su potencia es muy alta por lo que sobrepasa la capacidad de los 6 paneles solares y los cuatro acumuladores como se demuestra en las tablas de la 13 a la 16 de demanda de energía. Esto se puede realizar porque existe una red eléctrica cerca junto al sistema. En la figura 24 se detalla el esquema final del sistema a instalar.



**Figura 24.** Esquema propuesto del sistema híbrido

**Fuente.** Autor

## 7 CONCLUSIONES

- ✓ De los datos obtenidos se puede decir que el sistema fotovoltaico debe tener instalado doce paneles para abastecer la demanda de energía de las luminarias, el sistema fotovoltaico en la actualidad no cumple con los requerimientos de demanda de energía, por lo que se instaló un sistema híbrido como propuesta de mejoramiento, en el cual las lámparas funcionan con la red eléctrica durante 12 horas y el sistema fotovoltaico genera energía exclusivamente para los reflectores.
- ✓ Mediante los cálculos realizados, se pudo determinar la potencia requerida para el funcionamiento del sistema de iluminación, así mismo, que los días de autonomía en que las baterías pueden transferir energía sin funcionar los paneles en óptimas condiciones por los días nublados, es de dos días.
- ✓ Con este trabajo se pudo cambiar el tiempo de trabajo del sistema de iluminación pasando de quince minutos a doce horas durante toda la noche con un horario de seis de la tarde a seis de la mañana.
- ✓ Se renovó la conexión del sistema FV mediante: cambio del cableado del grupo de baterías, conexión de una caja térmica con los respectivos breakers, arreglo del rack donde se encuentran los instrumentos y equipos, y se adecuó el lugar donde se encuentra emplazado el sistema FV como parte de la repotenciación del mismo.

## 8 RECOMENDACIONES

- Cuando se realice el diseño de un sistema fotovoltaico se debe considerar la radiación solar del mes más crítico del año con el objeto de tener un funcionamiento óptimo del sistema.
  
- Mantener en óptimas condiciones el rack donde se alojan los dispositivos y equipos del sistema fotovoltaico, por lo que es aconsejable un mantenimiento preventivo para prolongar la vida útil de los componentes y del sistema fotovoltaico; así como para un óptimo y adecuado funcionamiento.
  
- Para los cálculos de un sistema fotovoltaico se debe considerar la potencia de las cargas a instalar.



## 9 BIBLIOGRAFÍA

### Libros:

Jutglar, Lluís. (2004). *Energía Solar*. Barcelona- España: Ceac.

### Internet:

Antusol. (S/F de S/F de 2010). *Energía Solar Fotovoltaica*. Recuperado el 20 de 02 de 2015, de <http://antusol.webcindario.com/>:  
<http://antusol.webcindario.com/instalacion.html>

Componentes de una instalación solar fotovoltaica. (26 de 4 de 2010).  
*8448171691.pdf*. Recuperado el 08 de 02 de 2015, de Componentes de una instalación solar fotovoltaica: <http://www.mcgraw-hill.es/bcv/guide/capitulo/8448171691.pdf>

CONELEC. (25 de 08 de 2008). *Atlas Solar del Ecuador con fines de Generación Eléctrica*. Recuperado el 14 de 01 de 2015, de Diseño de un Sistema Fotovoltaico: [http://www.conelec.gob.ec/archivos\\_articulo/Atlas.pdf](http://www.conelec.gob.ec/archivos_articulo/Atlas.pdf)

Díaz, Corcobado, Tomás; Carmora, Rubio, Guadalupe. (2010).

<http://antusol.webcindario.com/instalacion.html>. (s.f.).

ITER. (10 de 2 de 2009).  
*1234267189\_ENERGIA\_SOLAR\_FOTOVOLTAICA\_ITER.pdf*. Recuperado el 08 de 02 de 2015, de ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA:  
[http://www.agenergia.org/files/resourcesmodule/@random49914e4ed9045/1234267189\\_ENERGIA\\_SOLAR\\_FOTOVOLTAICA\\_ITER.pdf](http://www.agenergia.org/files/resourcesmodule/@random49914e4ed9045/1234267189_ENERGIA_SOLAR_FOTOVOLTAICA_ITER.pdf)

Jutglar, Lluís. (2004). *Energía Solar*. Barcelona- España: Ceac.

Kusterer, John M. (11 de 03 de 2015). *Atmospheric Science Data Center---*  
<https://eosweb.larc.nasa.gov>. Obtenido de <https://eosweb.larc.nasa.gov/cgi-bin/sse/grid.cgi?email=skip%40larc.nasa.gov>:  
[https://eosweb.larc.nasa.gov/cgi-bin/sse/grid.cgi?&num=101087&lat=-3.991&submit=Submit&hgt=100&veg=17&sitelev=&email=skip@larc.nasa.gov&p=grid\\_id&p=avg\\_dnr&p=ret\\_tlt0&step=2&lon=-79.205](https://eosweb.larc.nasa.gov/cgi-bin/sse/grid.cgi?&num=101087&lat=-3.991&submit=Submit&hgt=100&veg=17&sitelev=&email=skip@larc.nasa.gov&p=grid_id&p=avg_dnr&p=ret_tlt0&step=2&lon=-79.205)

Manzano Orrego José; López Chaves Teodoro. (sf de sf de 2008). *FUENTES RENOVABLES DE ENERGÍA. LA ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA*

*.INSTALACIONES AISLADAS*. Recuperado el 08 de 01 de 2015, de  
<http://contenidos.educarex.es/mci/2008/14/presentacion/presentacion.html>:  
<http://contenidos.educarex.es/mci/2008/14/tema4/tema4.html>

Mppt Solar. (sf de sf de 2015). <http://www.mpptsolar.com/es/home.html>.  
Recuperado el 08 de 01 de 2015, de  
<http://www.mpptsolar.com/es/regulador-de-carga-solar-mppt.html>

Orbegozo, Carlos; Arivilca, Roberto. (s.f de s.f de 2010).  
*Manual\_ES\_Fotovoltaica.pdf*. Recuperado el 25 de 07 de 2014, de Energía  
Solar Fotovoltaica: [http://energiaverde.pe/wp-  
content/uploads/2010/06/Manual\\_ES\\_Fotovoltaica.pdf](http://energiaverde.pe/wp-content/uploads/2010/06/Manual_ES_Fotovoltaica.pdf)

## 10 ANEXOS

### 10.1 Anexo 1



Estado inicial del sistema de generación fotovoltaico.

### 10.2 Anexo 2



Remodelación del piso.

### 10.3 Anexo 3



Colocación de gravilla en el piso del sistema fotovoltaico.

### 10.4 Anexo 4



Estado final del sistema de generación fotovoltaico.

## 10.5 Anexo 5



Instalaciones del sistema fotovoltaico anteriores.

## 10.6 Anexo 6



Instalaciones del sistema fotovoltaico actual.

### 10.7 Anexo 7



Paneles fotovoltaicos existentes.

### 10.8 Anexo 8



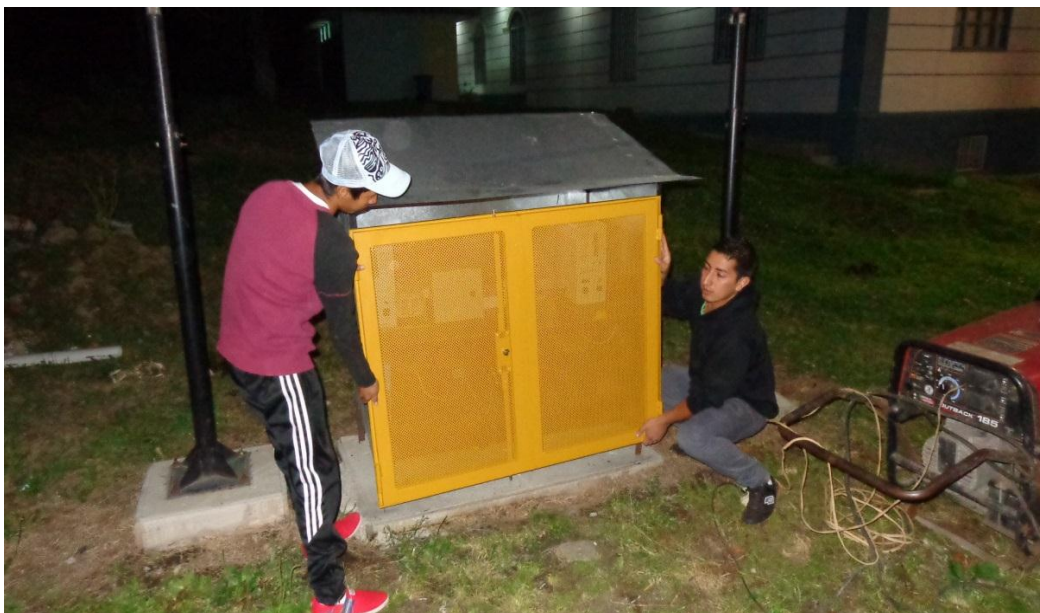
Mantenimiento del sistema fotovoltaico.

## 10.9 Anexo 9



Puerta del armario anterior.

## 10.10 Anexo 10



Puerta del armario actual.



UNIDAD EDUCATIVA FISCOMISIONAL  
"SANTA MARIANA DE JESUS"  
Saraguro - Ecuador



Lic. Carmen Verónica Godoy Armijos.

**DOCENTE DE LA UNIDAD EDUCATIVA FISCOMISIONAL "SANTA MARIANA DE JESÚS"**

**CERTIFICA:**

Que el documento aquí compuesto es fiel traducción del Idioma Español a Idioma Inglés del resumen de Tesis titulada **"REPOTENCIACIÓN DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO UTILIZADO PARA ILUMINAR EL ACCESO PRINCIPAL DE LA VIVIENDA SOSTENIBLE DEL AEIRNNR"**, del Egresado **Danny Pablo Godoy Armijos**.

Lo certifico en honor a la verdad y autorizo al interesado hacer uso del presente en lo que a su interés convenga.

Loja, 07 de Julio del 2015

Lic. Carmen Verónica Godoy Armijos.

**DOCENTE U. E. F "SANTA MARIANA DE JESÚS"**