

**UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

**FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO  
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELÉCTRICO-MECÁNICA CON  
MENCION EN GESTIÓN EMPRESARIAL INDUSTRIAL**

**TEMA:**

**Propuesta de Diseño de un Sistema de Energía Solar Fotovoltaica. Caso de  
Aplicación en Casa Comunal de Cooperativa Los Paracaidistas en la Ciudad de  
Guayaquil.**

**AUTOR:**

**LINDAO SUAREZ, WILMER EDUARDO**

**Trabajo de titulación previo a la obtención del grado de  
INGENIERO EN ELÉCTRICO-MECÁNICA**

**TUTOR:**

**ING. PHILCO ASQUI, LUIS ORLANDO, M.SC.**

Guayaquil, 7 de febrero del 2020



UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO  
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELÉCTRICO-MECÁNICA CON  
MENCIÓN EN GESTIÓN EMPRESARIAL INDUSTRIAL

### **CERTIFICACIÓN**

Certificamos que el presente trabajo de titulación, fue realizado en su totalidad por,  
como requerimiento para la obtención de Título de **Ingeniería en Eléctrico-  
Mecánica**

TUTOR

---

**ING. PHILCO ASQUI, LUIS ORLANDO, MSC.**

**DIRECTOR DE LA CARRERA**

---

**ING. HERAS SÁNCHEZ, MIGUEL ARMANDO, M.SC.**

Guayaquil, 7 de febrero del 2020



UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO  
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELÉCTRICO-MECÁNICA CON  
MENCIÓN GESTIÓN EMPRESARIAL INDUSTRIAL

### **DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD**

Yo, **LINDAO SUAREZ, WILMER EDUARDO**

#### **DECLARO QUE:**

El Trabajo de Titulación: **Propuesta de Diseño de un Sistema de Energía Solar Fotovoltaica. Caso de Aplicación en Casa Comunal de Cooperativa Los Paracaidistas en la Ciudad de Guayaquil**, previo a la obtención del Título de **Ingeniería en Eléctrico-Mecánica**, ha sido desarrollado respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan en el documento, cuyas fuentes se incorporan en las referencias o bibliografías. Consecutivamente este trabajo es de mi total autoría. En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance del Trabajo de Titulación referido.

Guayaquil, 7 de febrero del 2020

**EL AUTOR**

---

**LINDAO SUAREZ, WILMER EDUARDO**



UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO  
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELÉCTRICO-MECÁNICA CON  
MENCIÓN EN GESTIÓN EMPRESARIAL INDUSTRIAL

### AUTORIZACIÓN

Yo, **LINDAO SUAREZ, WILMER EDUARDO**

Autorizo a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil a la **publicación** en la biblioteca de la institución del trabajo de titulación: **Propuesta de Diseño de un Sistema de Energía Solar Fotovoltaica. Caso de Aplicación en Casa Comunal de Cooperativa Los Paracaidistas en la Ciudad de Guayaquil**, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y total autoría.

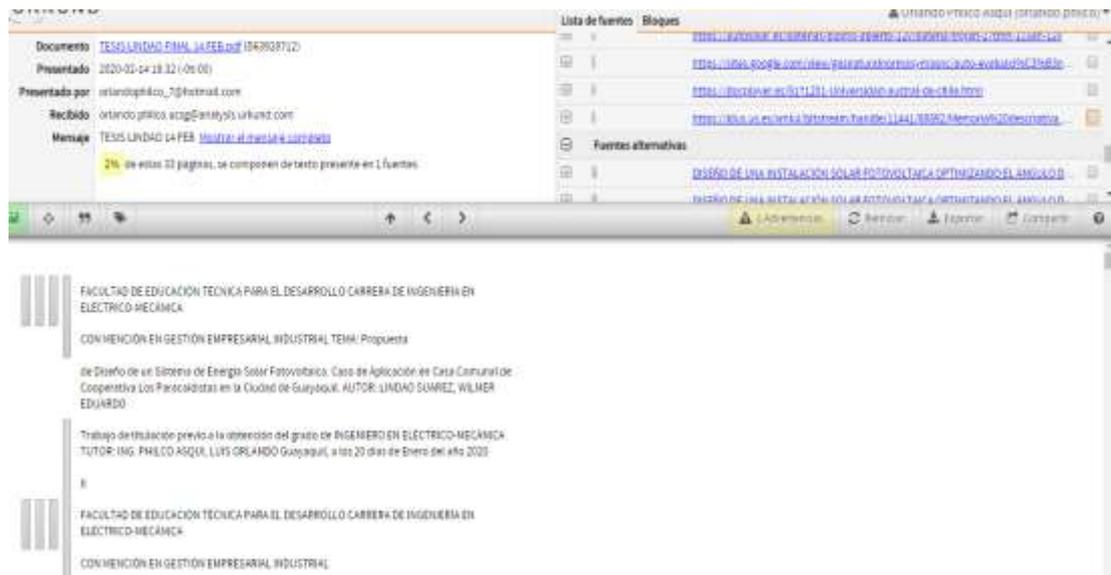
Guayaquil, 7 de febrero del 2020

**EL AUTOR**

---

**LINDAO SUAREZ, WILMER EDUARDO**

## REPORTE URKUND



Reporte Urkund del trabajo de titulación en Ingeniería en Eléctrico-Mecánica titulado: **“Propuesta de Diseño de un Sistema de Energía Solar Fotovoltaica. Caso de Aplicación en Casa Comunal de Cooperativa Los Paracaidistas en la Ciudad de Guayaquil”** del estudiante **Lindao Suarez, Wilmer Eduardo** el análisis de coincidencia indica el 2% de coincidencias.

Atentamente

Ing. Orlando Philco A.

Revisor

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a DIOS todo poderoso por darme salud y entendimiento para llegar a esta etapa de culminar con éxito mi carrera universitaria.

A las autoridades y docentes de la Facultad de Educación Técnica para el Desarrollo de la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, por brindarme la oportunidad de formar parte de la comunidad estudiantil.

A mi Padre Eduardo Lindao y Madre Sirley Suárez que con esfuerzo me han dado su apoyo, cariño y ejemplo para superarme, a mi familia que me ha alentado en estos años para seguir cumpliendo objetivos en lo académico y en lo personal.

A mi tutor Ing. Orlando Philco Asqui, por su dirección y acertadas opiniones para culminar el presente trabajo de titulación.

El Autor

## **DEDICATORIA**

El presente trabajo de titulación se lo dedico a DIOS por haberme dado la sabiduría, entendiendo y fuerzas necesarias para llegar hasta alcanzar esta meta trazada desde muchos años atrás y que hoy estoy cumpliendo.

A mis padres y hermana que con su ferviente amor han sabido guiarme y darme la oportunidad de cumplir este reto ustedes son los mejores.

El autor



**UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

**FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO  
CARRERA DE INGENIERÍA ELÉCTRICO-MECÁNICA CON MENCIÓN  
EN GESTIÓN EMPRESARIAL INDUSTRIAL**

**TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN**

---

**ING. ARMANDO HERAS SÁNCHEZ, M.Sc.  
DIRECTOR DE CARRERA**

---

**ING. ORLANDO PHILCO ASQUI M.Sc.  
COORDINADOR DE TITULACIÓN**

---

**ING. NÉSTOR ZAMORA CEDEÑO M.Sc.  
OPONENTE**

## Índice General

CAPÍTULO 1: GENERALIDADES DE LA INVESTIGACIÓN .....	2
1.1 Introducción.....	2
1.2 Definición del Problema .....	3
1.3 Justificación.....	3
1.4 Objetivo General.....	3
1.4.1 Objetivos Específicos .....	3
1.5 Hipótesis .....	3
1.6 Metodología de Investigación.....	4
CAPÍTULO 2: EFECTO FOTOVOLTÁICO.....	5
2.1 Radiación Solar .....	6
2.1.1 Irradiación.....	6
2.1.2 Irradiancia .....	8
2.2 Inclinação y orientación de los módulos fotovoltaicos .....	9
2.2.1 Inclinação.....	9
2.2.2 Orientación .....	11
2.2.3 Hora Sol Pico (HSP) .....	14
2.2.4 Equipos de medición .....	14
2.3 Componentes de la instalación fotovoltaica.....	16
2.3.1 Panel solar o fotovoltaico .....	16
2.3.2 Inversor .....	18
2.3.3 Baterías.....	18
2.3.3.1 Baterías de ciclo ligero o de ciclo poco profundo .....	19
2.3.3.2 Baterías de ciclo profundo .....	19
2.3.3.3 Baterías de plomo-ácido .....	19
2.3.3.4 Baterías de níquel-cadmio .....	20

2.3.4 Regulador de carga .....	21
2.3.4.1 Funciones del regulador.....	23
2.3.4.2 Tipos de reguladores .....	23
2.3.4.3 Ventajas de un regulador de carga MPPT frente a uno PWM	25
2.4 Tipos de paneles fotovoltaicos .....	26
2.4.1 Paneles monocristalinos .....	26
2.4.2 Paneles policristalinos .....	27
2.4.3 Paneles solares fotovoltaicos de capa fina .....	27
2.5 Instalación de paneles en casa.....	28
2.5.1 Criterios para el diseño de instalaciones de paneles solares .....	28
2.5.2 Orientación e inclinación de un panel fotovoltaico .....	29
2.6 Efecto sombra sobre los paneles solares .....	30
2.6.1 Energía generada por un panel solar .....	31
2.6.2 Conexión en paralelo de los paneles solares.....	32
2.7 Protecciones .....	36
2.8 Puesta a tierra.....	37
2.9 Normativas .....	39
2.10 Tipos de infraestructuras con sistemas fotovoltaicos.....	41
2.10.1 Instalaciones DC-coupling. (sistema clásico).....	41
2.10.2 Instalaciones AC-coupling. (sistema híbrido) .....	42
2.10.2.1 Modo de trabajo .....	42
<b>CAPÍTULO 3: CRITERIOS DE DIMENSIONAMIENTO DE SISTEMA FOTOVOLTAICO RESIDENCIAL.....</b>	<b>46</b>
3. 1 Dimensionamiento de un sistema fotovoltaico.....	46
3.1.1 Modelos de estimación para irradiancia solar .....	46
3.2 Base de datos meteorológicos solares.....	47
3.2.1 Base de datos de irradiancia de últimos 5 años. ....	48

3.2.2 Estimación del valor HSP para “mes con baja radiación solar” .....	49
3.2.3 Estimación del ángulo de inclinación según coordenadas geográficas.....	51
3.3 Selección del panel fotovoltaico.....	51
CAPÍTULO 4: LEVANTAMIENTO DE CARGAS ELÉCTRICAS.....	55
4.1 Ubicación.....	55
4.1.1 Inspección a área de casa comunal .....	55
4.2 Levantamiento de carga en casa comunal .....	57
4.2.1 Cálculo del consumo máximo: .....	58
4.2.2 Dimensionamiento del sistema de puesta a tierra.....	62
Conclusiones .....	64
Recomendaciones .....	66

## Índice de figura

### Capítulo 2.

Figura 2. 1 Radiación Solar .....	6
Figura 2. 2 Mapa de Irradiación del Ecuador .....	7
Figura 2. 3 Cambio de la curva característica V- I de células FV en función de la irradiancia .....	8
Figura 2. 4 Esquema de la irradiancia espectral .....	9
Figura 2. 5 Inclinação de un panel solar .....	10
Figura 2. 6 Ángulo de inclinación y de incidencia .....	11
Figura 2. 7 Irradiancias (fórmulas) .....	12
Figura 2. 8 Ángulo de radiación .....	12
Figura 2. 9 Radiación solar en capas de atmósfera .....	12
Figura 2. 10 Radiación directa, reflejada y difusa .....	13
Figura 2. 11 Trayectoria de los rayos solares en la atmósfera .....	13
Figura 2. 12 Irradiancia del Sol en las distintas horas del día.....	14
Figura 2. 13 Equipos de medición .....	15
Figura 2. 14 Elementos de medida de radiación solar .....	15
Figura 2. 15 Componentes de una instalación fotovoltaica .....	16
Figura 2. 16 Paneles solares en viviendas.....	17
Figura 2. 17 Constitución de un panel solar.....	17
Figura 2. 18 Inversor Enercity .....	18
Figura 2. 19 Batería .....	18
Figura 2. 20 Conexión del regulador .....	21
Figura 2. 21 Regulador de carga solar.....	22
Figura 2. 22 Regulador de carga PWM y MPPT .....	25
Figura 2. 23 Panel Monocristalino .....	26
Figura 2. 24 Panel Policristalino.....	27
Figura 2. 25 Panel de Capa Fina .....	28
Figura 2. 26 Ángulo de inclinación de los paneles solares.....	29
Figura 2. 27 Orientación óptima de los paneles solares .....	30
Figura 2. 28 Efecto de la sombra en los paneles solares .....	31
Figura 2. 29 Simbología del panel solar. ....	32

Figura 2. 30 Conexión de paneles solares en paralelo.....	33
Figura 2. 31 Paneles solares conectados en serie .....	34
Figura 2. 32 Conexión mixta de paneles solares. ....	35
Figura 2. 33 Conexión de puesta a tierra del panel FV.....	38
Figura 2. 34 Puesta a tierra del sistema fotovoltaico.....	38
Figura 2. 35 Sistema de bombeo fotovoltaico dimensionado para una zona rural.....	39
Figura 2. 36 sistema fotovoltaico de coupling.....	41
Figura 2. 37 Sistema fotovoltaico híbrido para residencias .....	42
Figura 2. 38 Instalación hibrida FV sin pasar por batería.....	43
Figura 2. 39 Instalación hibrida FV con carga en batería.....	43
Figura 2. 40 Caso de demanda o consumo mayor y respaldo de energía por medio de batería.....	44
Figura 2. 41 Caso de carga en batería, no existe consumo eléctrico.....	44
Figura 2. 42 Caso de batería descargada y respaldo por generador eléctrico .....	45
Capítulo 3.	
Figura 3. 1 Base de datos de radiación Solar en todo un año.....	48
Figura 3. 2 Irradiancia e histogramas de frecuencia para el mes de junio 2014 .....	49
Figura 3. 3 Horas efectivas de Sol. ....	50
Capítulo 4.	
Figura 4. 1 Vista satelital de la cooperativa Los Paracaidistas .....	55
Figura 4. 2 Casa comunal Los Paracaidistas .....	56
Figura 4. 3 Croquis del área de la casa comunal Los Paracaidistas .....	56
Figura 4. 4 Diseño de sistema fotovoltaico para casa comunal .....	63

## Índice de Tablas

### Capítulo 2.

Tabla 2. 2 Comparación entre las baterías de plomo-ácido y las baterías de níquel-cadmio. ....	20
--	----

Tabla 2. 1 Diferencias entre los paneles, según la tecnología de fabricación. ....	28
--	----

### Capítulo 3

Tabla 3. 1 Radiación solar diaria horizontal año 2014 NASA. ....	46
--	----

Tabla 3. 2 Links con registro global de irradiancia solar ....	47
--	----

Tabla 3. 3 Promedio mensual de radiación de la estación UPS ....	48
--	----

Tabla 3. 4 Cálculo del histograma de frecuencias.....	50
---	----

Tabla 3. 5 Estimación de la HSP para el mes peor ....	50
---	----

Tabla 3. 6 Irradiación calculada de paneles Policristalinos ....	51
--	----

Tabla 3. 7 Estimación del consumo de energía del SFA.....	52
---	----

### Capítulo 4.

Tabla 4. 1 Datos de Carga eléctrica.....	57
--	----

Tabla 4. 2 Elementos del sistema solar diseñado.....	61
--	----

## **Resumen**

La energía solar fotovoltaica transforma de manera directa la luz solar en electricidad empleando una tecnología basada en el efecto fotovoltaico. Al incidir la radiación del sol sobre una de las caras de una célula fotoeléctrica (que conforman los paneles) se produce una diferencia de potencial eléctrico entre ambas caras que hace que los electrones salten de un lugar a otro, generando así corriente eléctrica.

Existen tres tipos de paneles solares fotovoltaicos hoy en días y determinar el adecuado panel como la del equipamiento para el diseño de un sistema fotovoltaico, es un conocimiento para dar soluciones a proyectos sustentables. Tal es el caso de la casa comunal en la cooperativa Los Paracaidistas ubicada en el sector noroeste de la ciudad de Guayaquil, que puede reducir el costo de facturas por consumo eléctrico. el dimensionamiento de equipos para dicho sistema permitirá que a futuro se implemente y se logre reducción de costos por consumo con valor agregado de la reducción de huella de carbón. Los resultados de un sistema fotovoltaico para a casa comunal Los Paracaidistas, conlleva a emplear 7 paneles solares monocristalinos, 4 baterías conectados en paralelo y un inversor de 10000 Vatios,

**PALABRAS CLAVES:** PANEL FOTOVOLTAICO, REGULADOR DE CARGA, CASA COMUNAL, INVERSOR, DIMENSIONAMIENTO.

## **Abstract**

Photovoltaic solar energy directly transforms sunlight into electricity using a technology based on the photovoltaic effect. When the sun's radiation affects one of the faces of a photoelectric cell (which make up the panels), there is a difference in electrical potential between both faces that causes electrons to jump from one place to another, thus generating electric current.

There are three types of photovoltaic solar panels today and determining the appropriate panel as the equipment for the design of a photovoltaic system, is a knowledge to provide solutions to sustainable projects. Such is the case of the communal house in the Los Paracaidistas cooperative located in the northwest sector of the city of Guayaquil, which can reduce the cost of electricity bills. The sizing of equipment for this system will allow for future implementation and reduction of consumption costs with added value of the carbon footprint reduction. The results of a photovoltaic system for a communal house Los Paracaidistas, leads to the use of 7 monocrystalline solar panels, 4 batteries connected in parallel and an inverter of 10,000 Watts,

**KEYWORDS:** PHOTOVOLTAIC PANEL, CHARGE REGULATOR, COMMUNAL HOUSE, INVERTER, SIZING.

# **CAPÍTULO 1: GENERALIDADES DE LA INVESTIGACIÓN**

## **1.1 Introducción**

Los avances en cuanto a desarrollo de paneles fotovoltaicos (FV) apuntan a mejorar el desempeño (eficiencia) y los perfiles ambientales y de sostenibilidad en la manufacturación de los módulos. Se optimizan no solo la captura la energía sino todo el sistema (inversor de corriente, batería, control y red) que permite convertir dicha energía en electricidad acorde a los estándares utilizados en electrodomésticos y aparatos electrónicos de uso final en hogares. Estas mejoras apuntan a incrementar el desempeño y eficiencia de todo el sistema para generación eléctrica de módulos FV y mejorar la funcionalidad y servicios energéticos que proveen.

En Ecuador, la energía hidroeléctrica es la mayor fuente de electricidad, pero bien se puede, elegir estrategias y medidas de adaptación al cambio climático para el sector energético, mayoritariamente hidroeléctrico como Ecuador, se convierte en un requerimiento estratégico de la política energética.

Los sistemas FV alcanzan un mayor despliegue en el mercado se pronostica que sus costos sigan reduciéndose ágilmente. A base de estas predisposiciones de desarrollo tecnológico y de su aumento en el mercado mundial, se proyecta que los costos medios de sistemas FV se reduzcan en más del 50% (Arvizu, Balaya, Cabeza, & Hollands, 2011).

El desarrollo de estas tecnologías debe enfocarse en el marco de un proceso de innovación y desarrollo tecnológicos con efectos multiplicadores que trascienden el campo energético de un país o región.

Dado que este sistema se presenta a través de soluciones individuales y que además es muy simple de instalar y mantener, posee una gran vida útil económica (mínimo de 20 años).

A través de la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil UCSG en conjunto de Vicerrectorado de Vinculación se puede diseñar e implementar proyectos de instalaciones fotovoltaicos residenciales donde los estudiantes de último semestre de estudio desarrollen conocimiento adquiridos en cuanto al dimensionamiento o cálculo para satisfacer requerimiento en sistema con energía renovable.

## **1.2 Definición del Problema**

El costo por consumo mensual de energía eléctrica en la casa comunal de la cooperativa Los Paracaidistas es un problema por cuanto no tienen recursos ni ingresos. Los moradores de dicha cooperativa consumen un promedio de 45 dólares mensuales ocupando solo los días sábados en un promedio de 7 horas y mayormente el consumo es por iluminación y climatización.

Existe la necesidad de establecer la energía fotovoltaica a nivel residencial en la casa comunal de la cooperativa Los Paracaidistas, lugar o sector considerado vulnerable.

## **1.3 Justificación**

La propuesta del diseño de un sistema de energía solar fotovoltaica para la casa comunal de Cooperativa Los Paracaidistas, es una solución sustentable para reducir costos por factura de consumo eléctrico. Los dirigentes del comité promejuoras no tienen recursos para pagar la factura de energía eléctrica. La propuesta de diseño ayudará también para que las autoridades de la FETD en conjunto con Vicerrectorado de Vinculación tomen decisiones en cuanto a compra de equipos para la instalación fotovoltaica en la casa comunal.

## **1.4 Objetivo General**

Diseñar un sistema de energía fotovoltaica para la casa comunal de la cooperativa Los Paracaidistas en la ciudad de Guayaquil

### **1.4.1 Objetivos Específicos**

1. Describir los fundamentos teóricos del efecto fotovoltaico.
2. Realizar el levantamiento de carga o consumo eléctrico en casa comunal Los Paracaidistas
3. Dimensionar un sistema fotovoltaico para la casa comunal Los Paracaidistas.

## **1.5 Hipótesis**

El trabajo de titulación está enfocado al dimensionamiento de un sistema fotovoltaico para el consumo eléctrico de la casa comunal contribuyendo a minimizar su huella de carbono, y reducir los costos por consumo de electricidad.

## **1.6 Metodología de Investigación**

En el presente trabajo de titulación se utiliza la metodología descriptiva, que está basada en toda la información de un sistema fotovoltaico, partiendo por la teoría del efecto fotovoltaico en placas o paneles solares.

Se utiliza el método analítico por cuanto se calculan capacidades de dispositivos y materiales eléctricos del sistema fotovoltaico en baja tensión. Se plantea la cantidad de equipos o dispositivos, para el sistema fotovoltaico en la casa comunal Los Paracaidistas.

## **CAPÍTULO 2: EFECTO FOTOVOLTAICO**

Cuando los fotones chocan con las células fotovoltaicas, estos pueden ser absorbidos, reflejados e incluso pasar a través de las células. Solo los fotones absorbidos pueden generar electricidad solar. Cuando es absorbido el fotón, la energía de este se conduce hacia un electrón de un átomo de la célula. Al generarse esta nueva energía, este electrón es capaz de transformarse y pasar a formar parte de una corriente en un circuito eléctrico. La corriente de electrones es creada en las capas de semiconductores de la célula solar.

Los semiconductores son tratados para que formen dos capas diferentes para formar un campo eléctrico, positivo y negativo. La corriente eléctrica se forma gracias a los electrones atrapados en el campo eléctrico, una vez que la luz se proyecta en la célula solar. Las células se fabrican con materiales que actúan como aislantes con bajas temperaturas y como conductores cuando se aumenta la energía.

Uno de estos paneles solares puede producir energía limpia por un tiempo aproximado de 20 años o más. El desgaste se debe, principalmente, a la exposición al medio ambiente. Un panel solar montado apropiadamente constituirá una fuente de energía limpia, silenciosa y confiable por muchos años.

Las células fotovoltaicas son las responsables de la transformación de la radiación solar en energía solar fotovoltaica, esto ocurre aprovechando las propiedades de los materiales semiconductores como el silicio, obtenido a partir de la arena. Estas células se asocian formando módulos fotovoltaicos (suelen ser de color negro o azul oscuro) y se protegen del exterior con una lámina de vidrio. Los paneles solares lo podemos encontrar de diversas formas, rígidos o flexibles (incluso enrollables), en forma de panel, de teja o incluso de ventana, orientables mecánicamente para captar el máximo de radiación solar lo que lo hace aumentar su productividad considerablemente, como es lógico sus precios varían considerablemente dependiendo del tipo de dispositivo de energía solar que adquiramos.

La energía producida por estos paneles se miden vatios pico Wp, eso es, la máxima potencia generada a 25 °C de temperatura  $1 \text{ Kw} / \text{m}^2$ , asimismo la energía producida se medirá en Kwh., es decir, la energía máxima que se produciría en condiciones de máxima potencia durante 1 hora. La energía solar fotovoltaica convierte

directamente la radiación del sol en electricidad, es una energía limpia, renovable y de un poder incalculable.

## 2.1 Radiación Solar

La energía solar que se recibe en la superficie de la tierra se ha calculado equivalente a 178 000 TW-año. En 1990 se calculaba que esta cantidad era 15 000 veces mayor que el consumo global. No obstante, cerca del 30% de esta energía es reflejada en el espacio, 50% es absorbida, convertida en calor y reenviada a la superficie terrestre; de este 50%, 49 000 TW-año son reenviados como energía calorífica bajo la forma de radiación electromagnética y 40 000 TW-año como energía calórica propiamente dicha

La radiación solar es el flujo de energía que se recibe del sol en forma de ondas electromagnéticas de diferentes frecuencias (luz visible, infrarroja y ultravioleta). La figura 2.1 muestra la representación de la radiación solar.

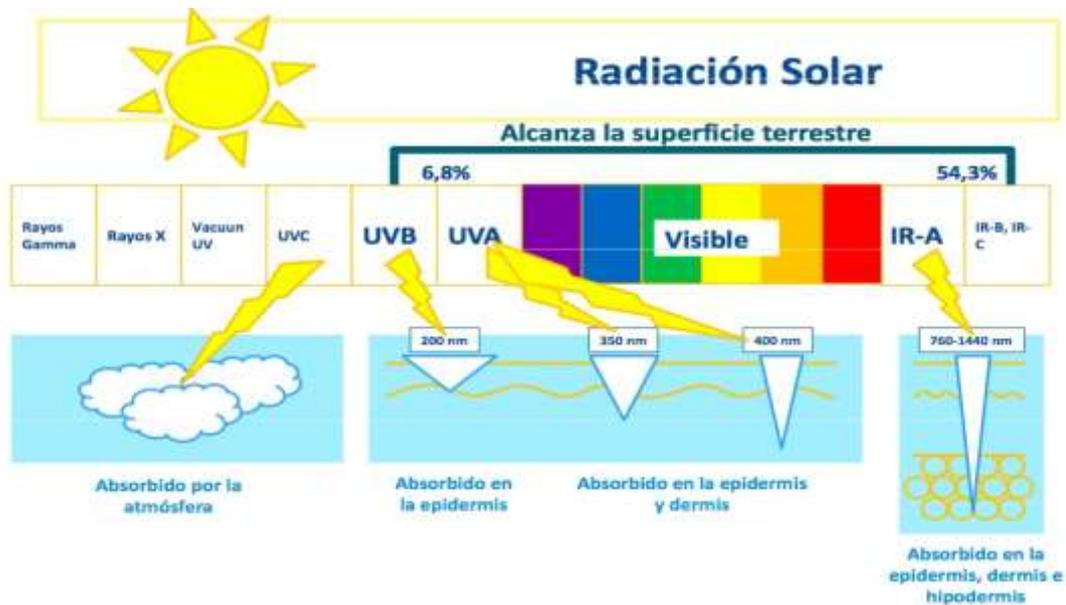


Figura 2. 1 Radiación Solar

Fuente: (Jurado, 2016)

### 2.1.1 Irradiación

Energía incidente por unidad de superficie. Se expresa como Wh/m<sup>2</sup> (vatios hora por metro cuadrado). En la figura 2.2 puede observar un esquema de irradiación.

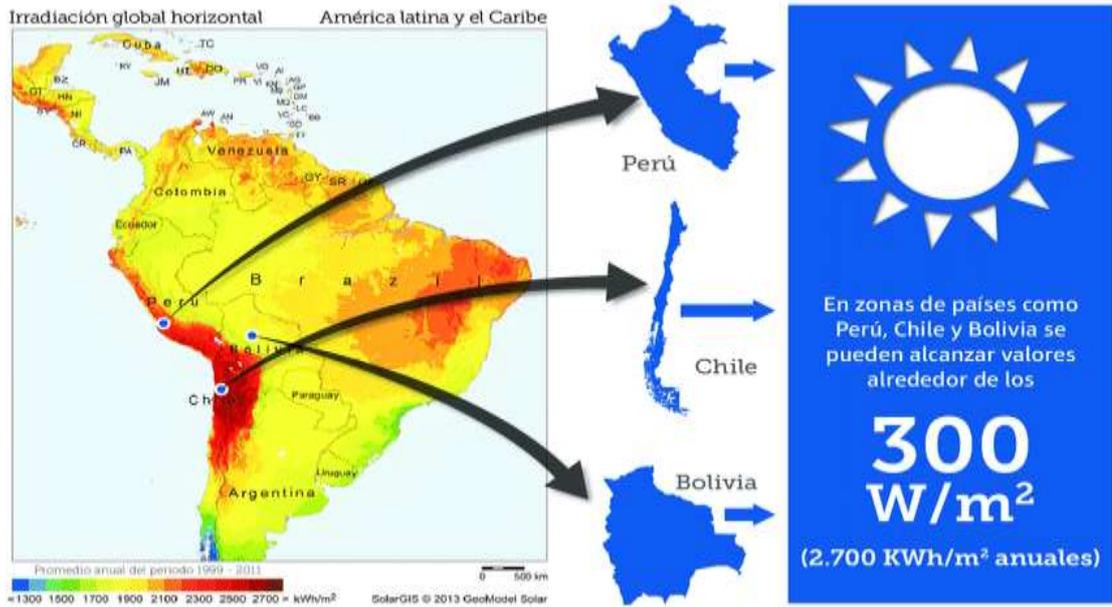


FIGURA 28: Mapa de irradiación solar global del Ecuador (CONELEC, 2008)

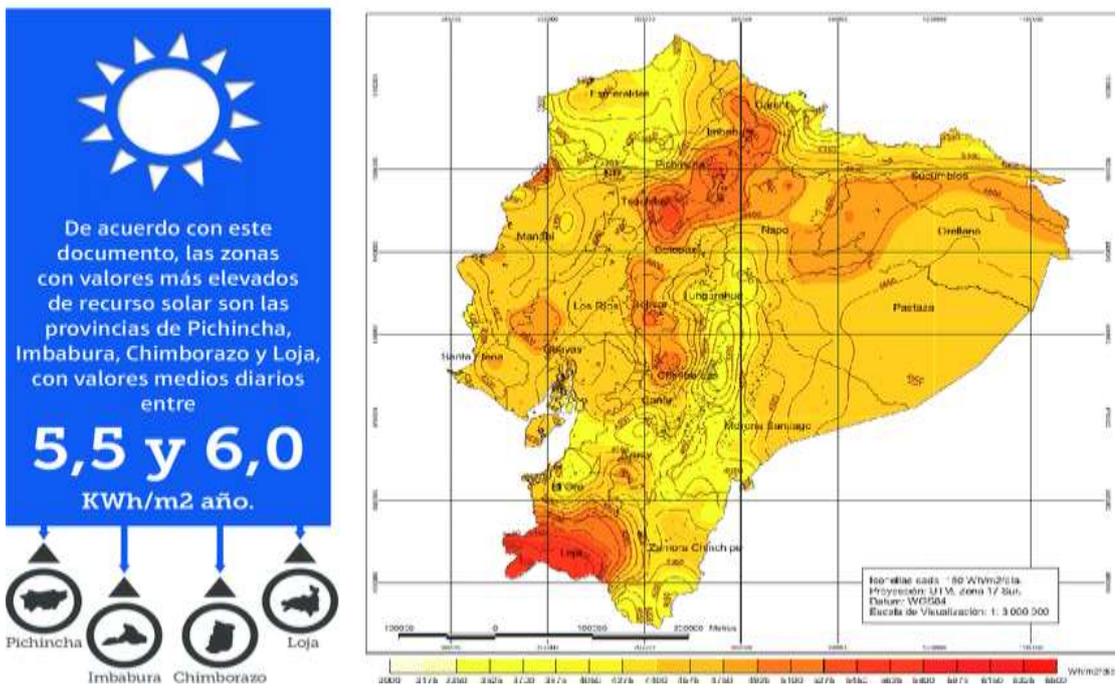


Figura 2. 2 Mapa de Irradiación del Ecuador

Fuente: (Villada, 2016)

### 2.1.2 Irradiancia

Cuando la irradiancia desciende, la corriente en el panel fotovoltaico generada disminuye proporcionalmente, mientras que la variación de la tensión sin carga es mínima.

En realidad, la eficiencia de conversión no se ve afectada por la variación de la irradiancia dentro del intervalo de operación estándar de las células, lo que significa que la eficiencia de conversión es la misma en un día claro y en otro nublado.

De esa manera, la reducción en la energía generada con un cielo nublado se debe no a una caída de la eficiencia sino a una generación reducida de la intensidad a causa de la menor irradiancia solar. En la figura 2.3 se puede observar el cambio de la curva característica V- I de células FV en función de la irradiancia incidente.

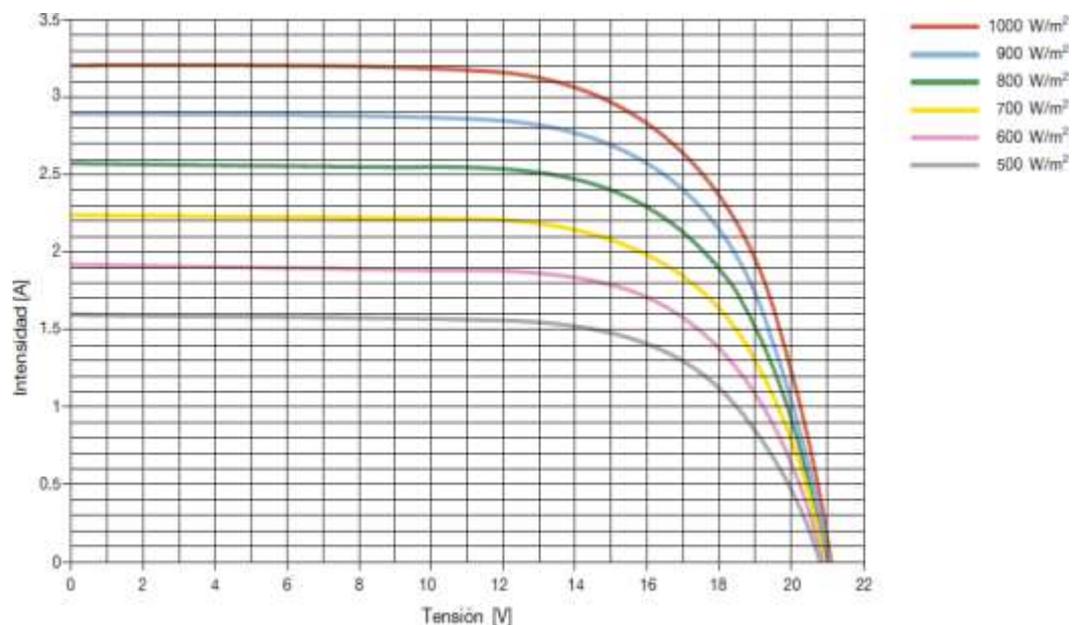


Figura 2.3 Cambio de la curva característica V- I de células FV en función de la irradiancia incidente.

Fuente. (Alonso, 2015)

Asimismo, la irradiancia se expresa como "potencia radiante incidente por unidad de superficie -W/m<sup>2</sup> (vatios por metro cuadrado). La figura 2.4 muestra un esquema de irradiancia espectral.

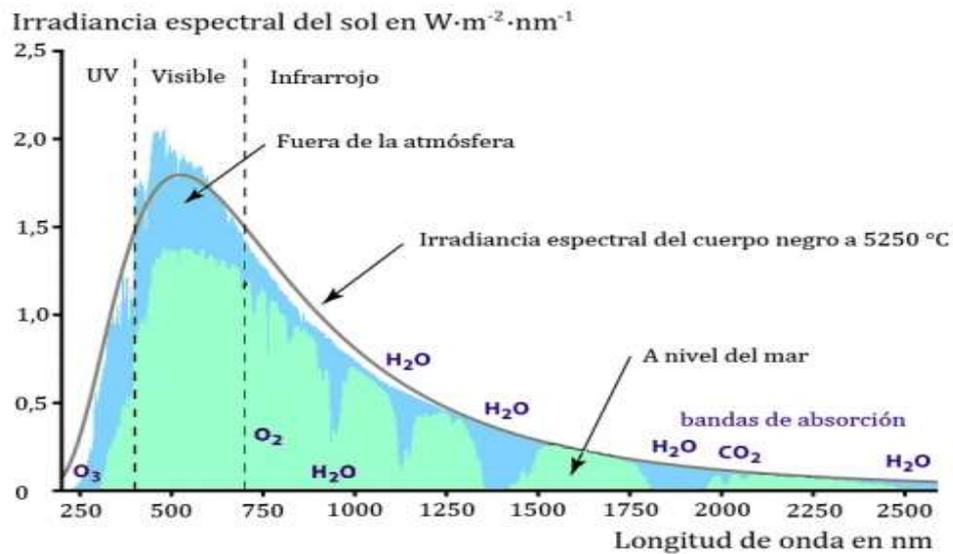


Figura 2.4 Esquema de la irradiancia espectral

Fuente: (ECyT-ar, 2017)

## 2.2 Inclinación y orientación de los módulos fotovoltaicos

Los paneles fotovoltaicos deben captar el máximo posible de energía solar, lo que significa que deben inclinarse y orientarse adecuadamente.

Frente a la opción de emplear un sistema de seguimiento, una solución estática puede resultar suficiente para determinadas aplicaciones. Naturalmente, en este caso la energía colectada no es la máxima posible, pero puede resultar aceptable si se da al colector una determinada orientación, la cual se puede variar con ajustes estacionales para conseguir algunas mejoras.

### 2.2.1 Inclinación

La radiación solar que incide sobre una placa varía con el ángulo que forma la misma con la radiación. Por tanto, la captación de energía solar será máxima cuando la posición de la placa solar sea perpendicular a la radiación.

La figura 2.5 muestra la inclinación de un panel solar.



Figura 2.5 Inclínación de un panel solar

Fuente. (Tecnología Area, 2016)

La inclinación de los rayos del sol respecto a la superficie horizontal es variable a lo largo del año (máxima en verano y mínima en invierno) y por tanto, en aquellas instalaciones cuyos paneles estén fijos, existirá un ángulo de inclinación que optimizará la colección de energía sobre una base anual. Es decir, conviene buscar el ángulo de inclinación de los paneles respecto al plano horizontal que hace máxima la potencia media anual recibida. En la mayoría de los casos este ángulo coincide con la latitud del lugar de la instalación. Normalmente se suele tomar un ángulo mayor, aproximadamente  $15^\circ$ , en beneficio de una mayor captación durante el invierno, cuando la luminosidad disminuye, a costa de una peor captación en verano, cuando hay una mayor cantidad de luz.

Puede ocurrir que la instalación no vaya a usarse todo el año sino sólo en ciertas épocas. Así, si la instalación se va a usar preferentemente en verano conviene que la inclinación del colector sea menor que la latitud del lugar, aproximadamente en  $15^\circ$ . Evidentemente, las pérdidas de las superficies horizontales con respecto a las que están inclinadas aumentan progresivamente a medida que nos acercamos al norte (en el hemisferio norte) o al sur (en el hemisferio sur). En los polos, los planos horizontales son inútiles. No obstante, es extremadamente difícil valorar las pérdidas en los climas templados ya que la proporción de luz difusa del sol es más grande debido a la presencia de polvo, vapor de agua y nubes. La orientación no ofrece ninguna ventaja en cuanto a la energía recibida desde la radiación indirecta. Por el contrario, debido a que los paneles inclinados reciben la luz de una parte del hemisferio, estos recogen menos luz difusa que los receptores horizontales.

### 2.2.2 Orientación

Para orientar un panel fotovoltaico se debe realizar de forma que éste entregue el mayor rendimiento a lo largo de todo el año, por esta razón se recomienda orientarlos con una inclinación que forme un ángulo con respecto a la horizontal igual a la latitud de lugar. De tal forma que la cara a irradiarse vea en sentido contrario al hemisferio en el que se emplazarán los paneles. Es decir, un punto que se encuentra a una latitud  $2,75^\circ$  sur, debe orientar su cara viendo al norte con un ángulo de  $2,75^\circ$ .

Sin embargo, en la práctica es recomendable que los paneles sean orientados con una inclinación mínima de  $10$  a  $15^\circ$  respecto a la horizontal, esto se realiza para que los paneles se laven con la lluvia, además este ángulo proporciona el mayor rendimiento durante el mes de más baja radiación. (CENTROSUR, 2010, pág. 5)

En la figura 2.6, ( $\alpha$ ) es el ángulo de inclinación que forma la superficie colectora y la horizontal. Para un ángulo de inclinación dado, dependiendo de la posición del sol sobre el horizonte, existirá un valor para el ángulo de incidencia ( $\beta$ ), que forma la perpendicular (P) a la superficie colectora, con los rayos incidentes.

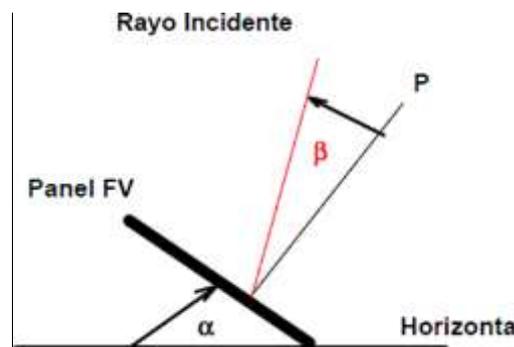


Figura 2.6 Ángulo de inclinación y de incidencia

Fuente. ( Auto Solar, 2019)

La energía recibida aumenta cuando ( $\beta$ ) es cero (rayos incidentes perpendiculares al panel). En la práctica es muy difícil alcanzar este valor durante todo el año, usando estructuras de soporte fijas. Como ya se explicó antes, se sugiere emplazar los paneles con un ángulo de inclinación fijo ( $\alpha$ ) igual a la latitud del lugar, ya que en esta posición se obtiene el mayor rendimiento durante el invierno, aceptando también pequeñas pérdidas de energía durante el verano. En la figura 2.7 se puede ver las fórmulas para calcular irradiancias.

<i>Irradiancia</i> ( $W/m^2$ )	<i>Irradiación horaria</i> ( $J/m^2$ )	<i>Irradiación diaria</i> ( $J/m^2$ )
$G = \frac{\text{Potencia}}{\text{Superficie}}$	$I = \frac{\text{Energía}}{\text{Superficie}} = \int_{1 \text{ hora}} G dt$	$H = \frac{\text{Energía}}{\text{Superficie}} = \int_{1 \text{ día}} G dt$

Figura 2.7 Irradiancias (fórmulas)

Fuente. El autor

En cambio, las figuras 2.8 muestra el ángulo de radiación; 2.9 muestra la radiación solar; la figura 2.10 muestra la radiación directa, reflejada y difusa y la figura 2.11 muestra la trayectoria de los rayos solares en la atmósfera.

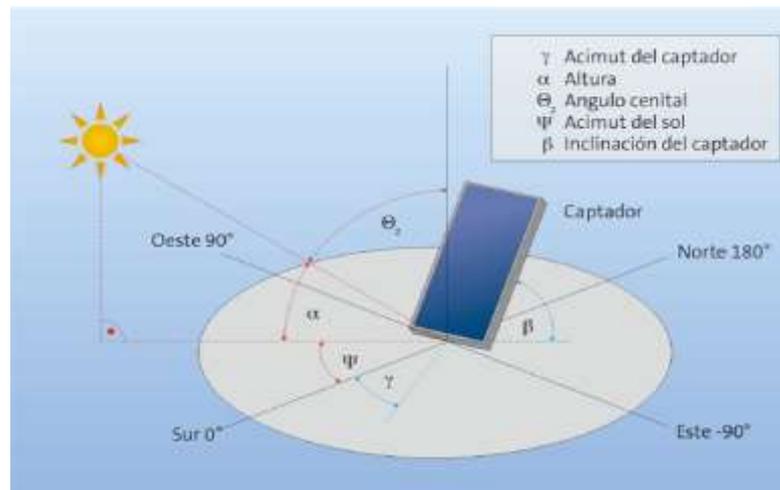


Figura 2.8 Ángulo de radiación

Fuente. ( Ayllu Solar, 2018)

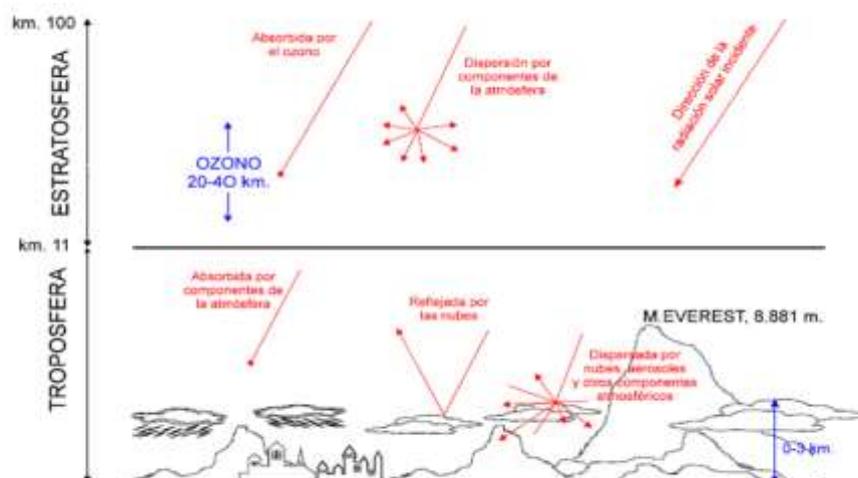


Figura 2.9 Radiación solar en capas de atmósfera

Fuente. ( Ayllu Solar, 2018)

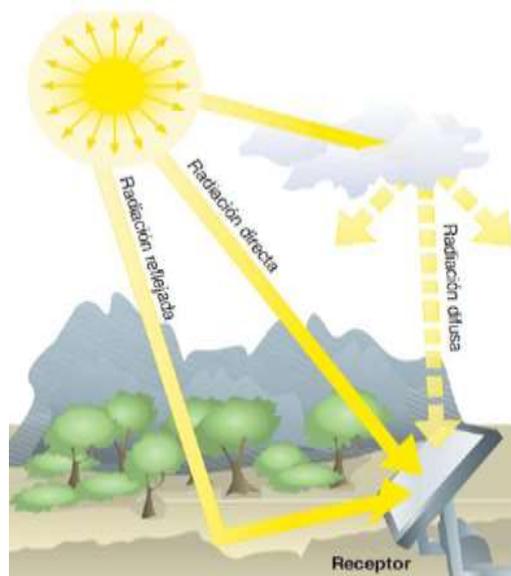


Figura 2. 10 Radiación directa, reflejada y difusa

Fuente. ( Energía Solar, 2015)

A continuación, se observa una masa del aire (fórmula)

$$m = \frac{1}{\sin(h)} \qquad m = \frac{1}{\cos(\alpha)}$$

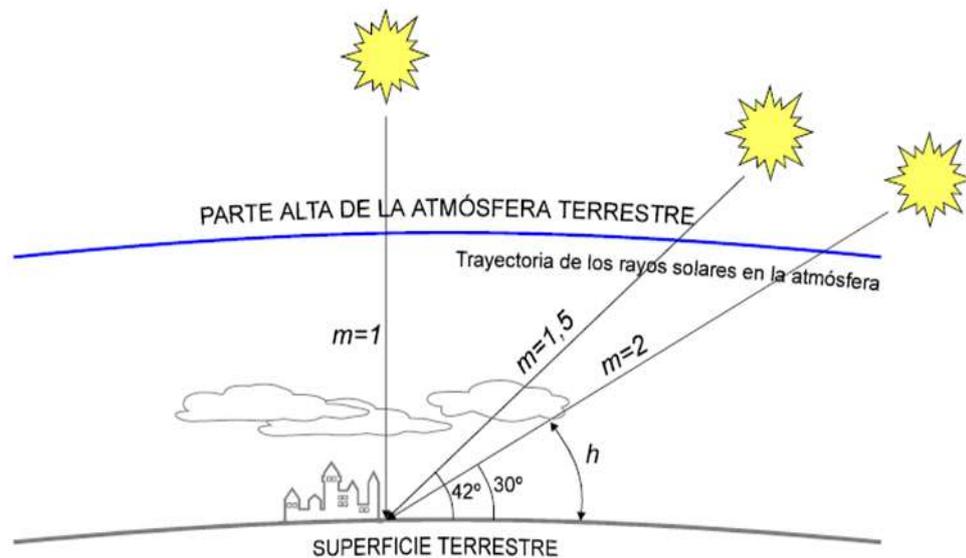


Figura 2. 11 Trayectoria de los rayos solares en la atmósfera

Fuente. ( Energía Solar, 2015)

### 2.2.3 Hora Sol Pico (HSP)

Un convencionalismo por parte de los ingenieros ha sido la presentación de la unidad Hora Pico u Hora Solar Pico.

Por lo tanto, en un día claro a nivel del mar, sobre la superficie horizontal incide una irradiancia-pico de  $1000 \text{ W/m}^2$  al medio día solar. Pues, teniendo en cuenta este valor como irradiancia pico, con un valor de  $1000 \text{ W/m}^2$ , a la irradiación recibida durante el periodo de tiempo de una hora se ha determinado denominar Hora Sol Pico.

$$1 \text{ HSP} = 1.000 \text{ Wh/m}^2$$

Analizando la curva de irradiancia-tiempo para un día, el área debajo de la curva representa la irradiación del día. Sin embargo, si se realiza la equivalencia con el área de un rectángulo, cuya altura corresponda con la irradiancia-pico ( $1.000 \text{ W/m}^2$ ), su base sería el número de horas en que supuestamente el Sol debería de brillar con esta irradiancia para obtener la misma irradiación del día. Siendo la siguiente (ver fig. 2.12) las horas-pico.

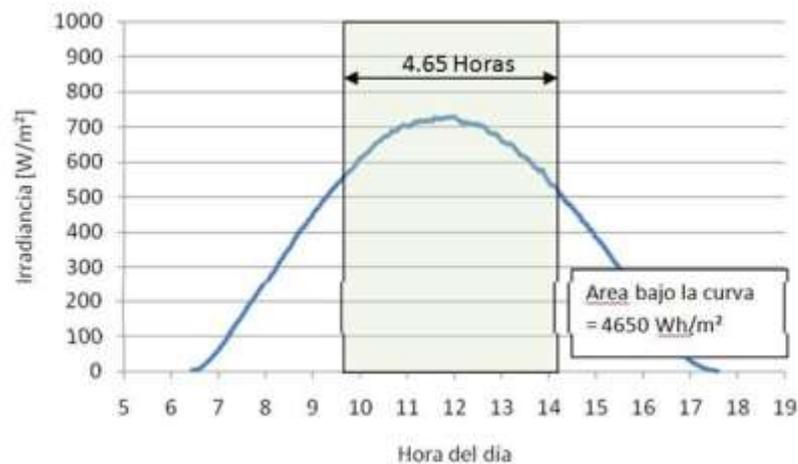


Figura 2. 12 Irradiancia del Sol en las distintas horas del día

Fuente. (Energía Solar, 2015)

### 2.2.4 Equipos de medición

Los equipos para la medición se detallan a continuación:

- Heliógrafo: Instrumento que mide la insolación, que son las horas de sol brillante que tiene el día.
- Actinómetro o pirheliómetro: Instrumento para medir la radiación directa.
- Solarímetro o piranómetro: Instrumento para la medición de la radiación global. directa + difusa + reflejada. Véase la figura 2.13.

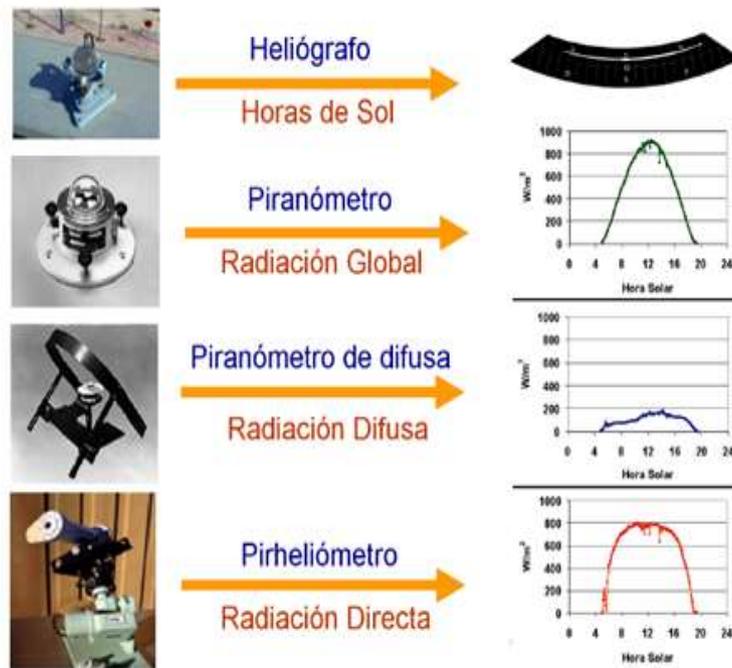


Figura 2. 13 Equipos de medición

Fuente. (Corporation, 2019)

A continuación, en la figura 2.14 se puede ver los elementos de medida.



Figura 2. 14 Elementos de medida de radiación solar

Fuente. (Corporation, 2019)

En la figura 2.14 se muestra imágenes de soportes, mástiles y mecanismo de seguimiento del movimiento solar.

## 2.3 Componentes de la instalación fotovoltaica

El panel solar es el componente principal de todos los tipos de sistemas fotovoltaicos. También del mismo, existen diferentes partes que se suman al sistema, que varían de acuerdo a la aplicación. En la figura 2.15 se puede ver de forma más didáctica los componentes, como así también la descripción de las mismas.

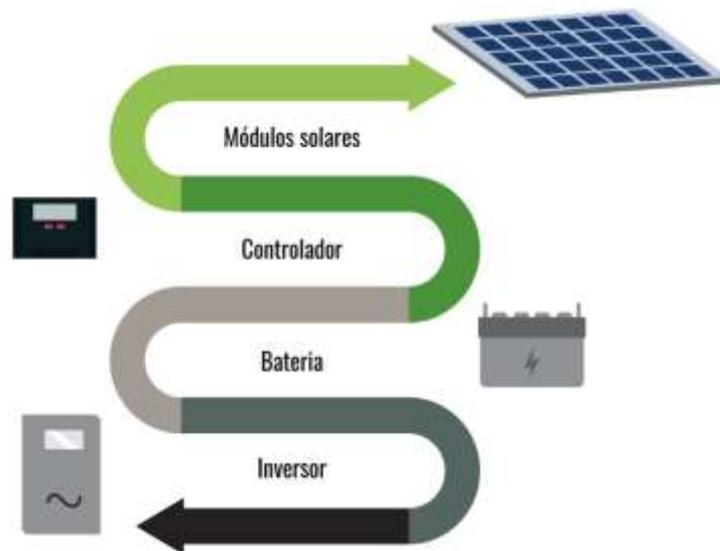


Figura 2. 15 Componentes de una instalación fotovoltaica

Fuente. ( Ayllu Solar, 2018)

### 2.3.1 Panel solar o fotovoltaico

El panel fotovoltaico es un conjunto de celdas fotovoltaicas (son pequeñas células hechas de materiales semiconductores, como el silicio cristalino o el arseniuro de galio, que pueden comportarse como conductores de electricidad o como aislantes, según el estado en que se encuentren), interconectadas convenientemente encajadas y protegidas que constituye el módulo fotovoltaico.

Las células fotoeléctricas transforman la energía solar en electricidad, en forma de corriente continua y ésta suele transformarse a corriente alterna, para poder utilizar los equipos electrónicos. Por tanto, este panel se encarga de transformar la radiación solar en energía eléctrica a través del efecto fotoeléctrico.

La figura 2.16 muestra que los paneles solares en una instalación fotovoltaica deben captar de forma 'directa' los rayos solares, por consiguiente, no debe haber obstáculos, ni el panel debe estar con impurezas o polvo en su superficie.

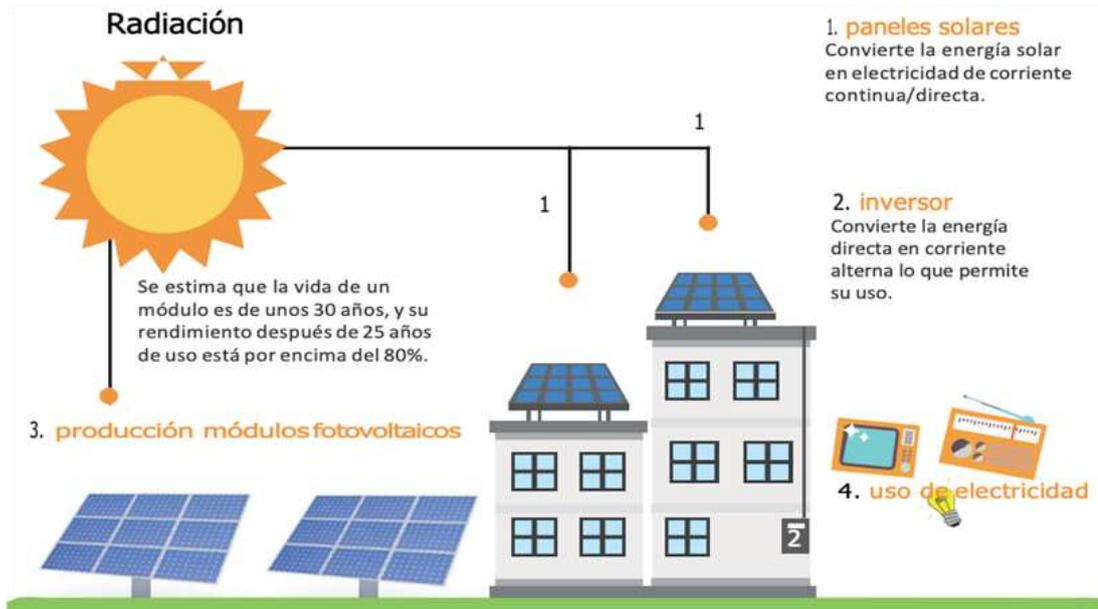


Figura 2. 16 Paneles solares en viviendas

Fuente. ( Ayllu Solar, 2018)

Además, los paneles fotovoltaicos se caracterizan por su potencia nominal o potencia máxima, que puede generar este panel en condiciones ideales (radiación de  $1\text{kW}/\text{m}^2$  y temperatura de  $25^\circ\text{C}$ ). La figura 2.17 muestra las principales características de todo panel solar y el esquema típico de su construcción.

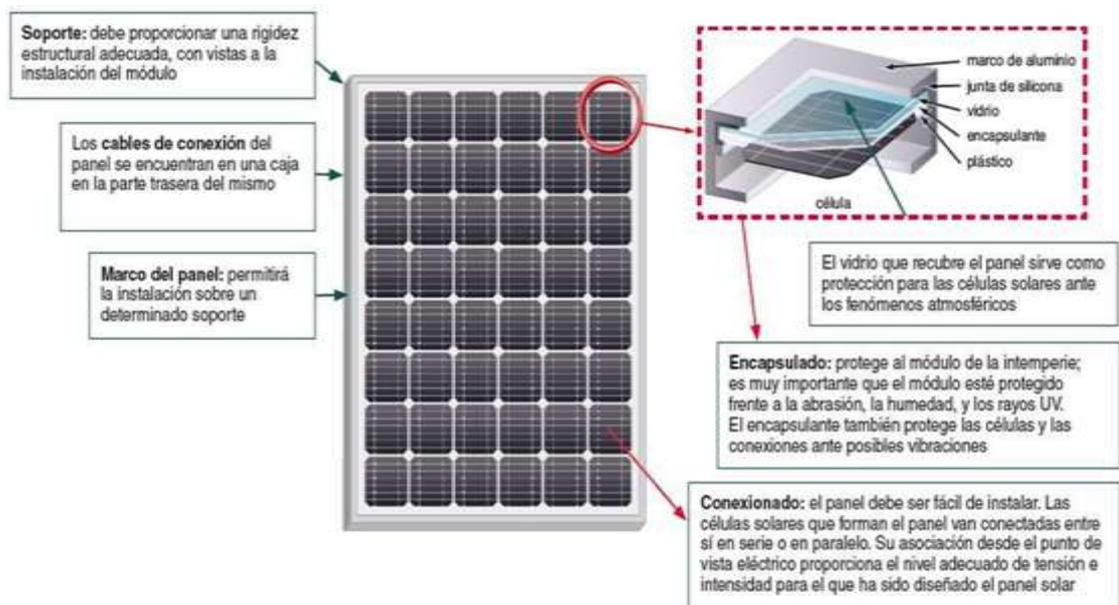


Figura 2. 17 Constitución de un panel solar

Fuente. (Solar A. , 2018)

### 2.3.2 Inversor

El inversor es considerado como el corazón del sistema, donde se gestiona la energía eléctrica en función de la demanda y la producción. Este dispositivo transforma la corriente continua del acumulador en corriente alterna a 220V, 60Hz y entrega la energía necesaria en cada momento. Además, solicita ayuda a fuentes externas, por demanda excesiva o por protección del acumulador, gestionando la carga de la batería y funcionando en este último caso como cargador. La figura 2.18 muestra un inversor.



Figura 2. 18 Inversor Enercity

Fuente: ( Auto Solar, 2019)

### 2.3.3 Baterías

La energía eléctrica de los paneles, una vez regulada, va a las baterías, que son las que almacenan la electricidad para poder usarla en otro momento. La comercialización está basada en la capacidad de almacenar energía y es medida en Amperios hora (Ah). En la figura 2.19 puede observar una batería para almacenar la electricidad.



Figura 2. 19 Batería

Fuente: ( Auto Solar, 2019)

### **2.3.3.1 Baterías de ciclo ligero o de ciclo poco profundo**

Son baterías que no pueden ser utilizadas hasta que se descarguen completamente, por lo que durante su uso se están cargando y descargando de manera alternativa. También son conocidas como baterías de arranque y están diseñadas para profundidades de descarga no mayores del 20%. Este tipo de baterías son más livianas y menos costosas que las baterías de ciclo profundo, pero son más susceptibles de daños permanentes si se exceden regularmente los niveles de descarga. Asimismo, están diseñadas para altas descargas iniciales solamente, por lo que son usadas comúnmente para el arranque de vehículos con motores de combustión. (Cavasassi, 2014).

### **2.3.3.2 Baterías de ciclo profundo**

Estas baterías están diseñadas para ser utilizadas durante largos periodos de tiempo, sin la necesidad de ser recargadas y sin que sufran daños permanentes debido a descargas regulares. También este tipo de baterías, poseen una profundidad de descarga que puede alcanzar hasta el 80%, son más robustas y más costosas que las baterías de ciclo ligero o de ciclo poco profundo, pero gracias a sus características de funcionamiento, son las baterías idóneas para sistemas fotovoltaicos aislados. (Caiza, 2017).

De manera general, las baterías recargables más utilizadas son las baterías de plomo-ácido, gracias a las prestaciones que ofrecen, pero actualmente las baterías de Litio superan las prestaciones que ofrecen las baterías de plomo-ácido, pero el principal problema para su uso en sistemas fotovoltaicos es su elevado costo, aunque esto podría cambiar en el futuro gracias a la aparición de este tipo de baterías más económicas. (Cristín, 2004).

Generalmente en sistemas fotovoltaicos, se utilizan dos tipos de baterías: baterías de plomo-ácido y baterías de níquel-cadmio, las mismas que son de ciclo profundo o conocidas también como de descarga profunda.

### **2.3.3.3 Baterías de plomo-ácido**

Como ya se ha dicho, este tipo de baterías son más económicas, por lo que su potencial comercial es muy elevado. El electrolito está compuesto mediante diversas aleaciones de plomo en una solución de ácido sulfúrico, mientras que las placas están compuestas de una aleación de plomo con otros materiales, de dicha

aleación depende la profundidad de descarga de la batería. Por ejemplo, se tienen baterías con placas de una aleación de plomo-antimonio y plomo-calcio. En las baterías de plomo-antimonio, el antimonio evita que se dañen las placas cuando la batería se descarga a profundidad, por lo que son baterías de ciclo profundo, mientras que en las baterías de plomo-calcio, el calcio reduce el auto descarga de la batería, sin embargo, este tipo de aleación sufre daños si las profundidades de descarga superan el 25%, por lo que son baterías de ciclo ligero. (Cristín, 2004). No obstante, existe otro tipo de baterías de plomo-ácido denominada ‘Gel’, debido a que el electrolito se encuentra en ese estado. La ventaja que ofrece este tipo de batería ante las baterías de electrolito líquido es que gracias a que se encuentran completamente selladas pueden trabajar en distintas posiciones sin que se riegue el electrolito o haya fugas de gases, siendo utilizadas en sistemas fotovoltaicos que requieren de gran cantidad de energía y en condiciones lugareñas que carecen de ventilación.

#### **2.3.3.4 Baterías de níquel-cadmio**

Este tipo de baterías es diferente a las baterías de plomo-ácido, ya que utilizan una base de hidróxido de potasio como electrolito en lugar de ácido. Este electrolito no produce cambios químicos en los materiales de las placas, sino que únicamente sirve como camino para los electrones. El polo positivo de la batería está compuesto con aleaciones de níquel, mientras que el polo negativo con aleaciones de cadmio, de ahí que son llamadas baterías de níquel-cadmio.

Entre las ventajas que ofrecen este tipo de baterías, se tiene que soportan condiciones de frío intensos, así como también altas temperaturas, no son tan afectadas ante sobrecargas y pueden ser descargadas totalmente sin que esto les cause daños, mientras que la principal desventaja para su utilización en sistemas fotovoltaicos es su elevado costo en comparación con las baterías de plomo-ácido (Cristín, 2004).

En la tabla 2.2 muestra la comparación y las características de las baterías de plomo-ácido y de níquel-cadmio.

Tabla 2. 1 Comparación entre las baterías de plomo-ácido y las baterías de níquel-cadmio.

		Precio	Profundidad de descarga	Autodescarga por mes	Mantenimiento
Plomo-ácido	Plomo-antimonio	Bajo	40-80%	5%	Alto
	Plomo-calcio abiertas	Bajo	15-25%	1-4%	Medio
	Plomo-calcio selladas	Bajo	15-25%	1-4%	Bajo
	Híbridas (antimonio-calcio)	Medio	40-80%	3-6%	Medio
	Gel	Medio-Alto	40-80%	2-3%	Bajo
Níquel-cadmio	Placas 'sintered'	Alto	100%	3-6%	Ninguno

Fuente: (Cristín, 2004)

### 2.3.4 Regulador de carga

Las instalaciones fotovoltaicas autónomas o aisladas necesitan de un sistema de baterías o acumuladores, para almacenar la energía producida en excedente cuando hay sol y utilizarla posteriormente cuando los paneles no son capaces de producir la energía necesaria que demanda la instalación.

El control de este proceso de carga y descarga de las baterías lo realiza un dispositivo llamado "regulador de carga". Este dispositivo, a pesar de su sencillez y su bajo costo, comparado con el costo total de la instalación, es fundamental para proteger la vida útil de las baterías y mejorar el funcionamiento del sistema fotovoltaico.

En la figura 2.20, muestra la conexión del regulador; pues, el inversor solar siempre se conecta a la salida de las baterías, nunca al regulador.

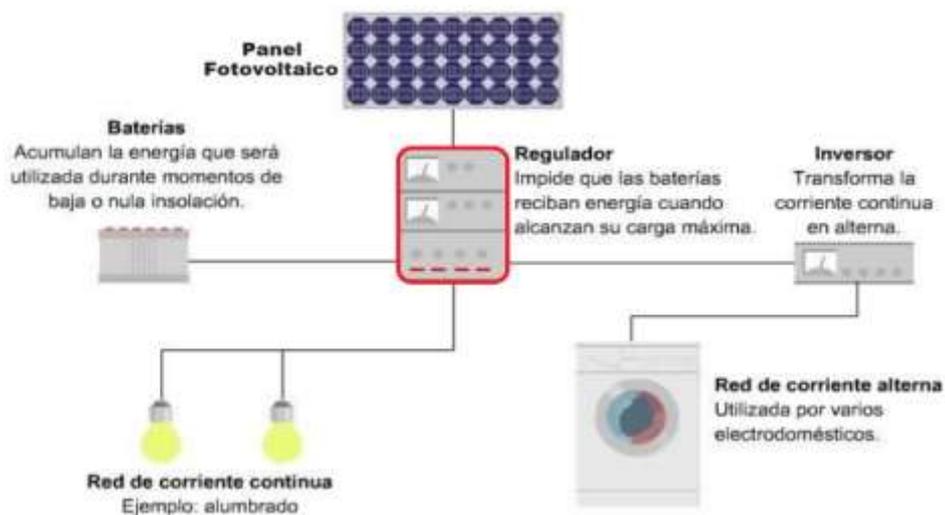


Figura 2.20 Conexión del regulador

Fuente. (Tecnosol, 2016)

Por este motivo, realmente el regulador solo controla la carga de las baterías, siendo el inversor el encargado de controlar que no se descargan en exceso.

El regulador o controlador de carga podría trabajar en dos zonas diferentes, en la zona de carga, siendo su misión garantizar la carga suficiente de la batería evitando sobrecargas y en la zona de descarga, para asegurar el suministro eléctrico diario suficiente y evitando descargas más allá de la profundidad de descarga de la batería. La figura 2.21 muestra un regulador de carga solar.



Figura 2. 21Regulador de carga solar

Fuente (Tecnología Area, 2016)

En instalaciones conectadas a la red sin baterías no necesita el regulador de carga, ya que no hay baterías. El regulador a su salida se puede conectar al inversor (si tiene bornes de salida a cc), pero en estos casos habrá que tener en cuenta que el regulador debe soportar la carga de la potencia total del suministro eléctrico de los receptores en alterna, es decir, la intensidad máxima que soporta el regulador debe ser la misma que soporta el inversor y la de este último, suele ser muy grande.

Sin embargo, solo en los casos de instalaciones en alterna de poca potencia, se recomienda conectar el inversor directamente al regulador o cuando la intensidad de consumo sea igual o menor a la de carga procedente de los paneles solares.

Todos los reguladores suelen tener una salida en corriente continua llamado o utilizada como "cargador", para que el excedente de carga de los paneles se pueda aprovechar para alguna pequeña bombilla o electrodoméstico a corriente continua, o incluso para recargar pequeños aparatos electrónicos en cc. No se debe conectar aquí el inversor, como se puntualizó con la batería.

La única excepción a la necesidad de un regulador es cuando la fuente de carga (módulos), producen mucha menos energía que la carga total de la batería. Si un

módulo fotovoltaico produce 1.5% de la ampacidad (los amperios) de la batería o menos, entonces no se necesita regulador de carga.

#### **2.3.4.1 Funciones del regulador**

El regulador es un dispositivo electrónico de regulador del voltaje y/o la corriente que cumple 3 funciones esenciales:

- Proteger la batería de acumuladores contra la sobrecarga o descarga profunda. En el caso que esté cargada completamente la batería, el regulador interrumpe la conexión con los paneles para evitar sobrecargar las baterías. A la inversa, cuando su carga desciende por debajo de cierto porcentaje (profundidad de descarga o DOD), corta la conexión con la red de consumo para evitar que se descargue por debajo de la profundidad de descarga marcada en el diseño de la instalación.
- Proteger a la batería de acumuladores contra las sobretensiones. A la entrada de las baterías pueden producirse sobretensiones, por ejemplo, cuando desciende mucho la temperatura de trabajo de las celdas solares. El regulador protege a las baterías de estas sobretensiones que podrían dañarlas. Además, los módulos solares suelen tener tensiones nominales mayores que las baterías para asegurar la carga correcta de la batería.
- Evitar la descarga nocturna de las baterías sobre los generadores fotovoltaicos. El regulador detecta que es de noche midiendo la tensión de entrada de los módulos fotovoltaicos. Cuando detecta que es de noche desconecta la entrada para evitar la circulación de corriente de la batería a las placas fotovoltaicas. Como solución básica, emplea un diodo que evita la circulación de corriente inversa.

#### **2.3.4.2 Tipos de reguladores**

El regulador controla el estado de la batería, midiendo la tensión en bornes de dicha batería. A partir de esta tensión se desarrolla el control de la carga y descarga, conectando o desconectando el generador fotovoltaico.

Según como se efectúe la regulación de la carga de la batería los reguladores se clasifican:

- **Reguladores MPPT o maximizador:** La sigla MPPT (Maximum Power Point Tracking) significa seguidor del punto de potencia máxima. El “punto” al que se hace mención es el que corresponde a los valores óptimos para el voltaje y corriente de salida que proporcionan la máxima potencia de salida. Este tipo de control incorpora un limitador de corriente, para no sobrepasar la corriente máxima tolerada por las baterías cuando la potencia de entrada sube transitoriamente. Además, un regulador MPPT modula el voltaje del panel y lo adapta a las características de las baterías conectadas y actualmente son usados en casi todas las ISFTV. Son más caros que los que se describe a continuación, pero consiguen un aumento de la producción energética de un 30% respecto a los PWM.

- **Reguladores PWM o convencional:** También llamados reguladores “todo o nada”, fueron los primeros reguladores de carga que aparecieron en el mercado y realizaban el control de carga de la batería; según el sistema “todo-nada”, mediante la conmutación de elementos electromecánicos (relés), al cual se lo denomina reguladores de una etapa. El regulador permitía el paso de toda la corriente producida por el conjunto de paneles conectados (generador FV) hasta que la tensión en la batería alcanzaba un valor predeterminado (más o menos a 14,5 V se considera llena).

Llegado a este valor se interrumpía el paso de la corriente. Para valores menores de 12V en la batería volvía a establecer el paso de toda la corriente a las baterías desde los generadores FV. Sin embargo, los controladores de carga PWM son menos costosos (que MPPT) y son una solución ideal para sistemas fotovoltaicos más pequeños donde el precio puede ser un punto crítico o donde la eficiencia máxima y la potencia adicional no son realmente necesarias. El regulador MPPT es más caro que un regulador de carga PWM, tiene una tarjeta de control electrónica y dispositivos de *switcheo* o conmutación para conseguir una máxima producción de las placas solares, por tanto, será una cuestión de amortización (Tecnología Area, 2016).

La figura 2.22 muestra un regulador de carga PWM y MPPT.



Figura 2. 22 Regulador de carga PWM y MPPT

Fuente: (Enercity, 2019)

Cabe mencionar que solo se utiliza reguladores PWM, en caso de instalaciones cuyos paneles suministren una potencia inferior a 200w. Para el resto siempre reguladores MPPT.

Sin embargo, cuando se trata de la forma de conmutación con la batería, existen dos tipos de sistemas de regulación:

**1. Reguladores en serie;** el cual incorpora interruptores, electromecánicos o electrónicos, que desconectan el generador cuando la tensión excede de un determinado nivel de referencia. Durante la noche, el circuito de carga permanece abierto, evitando que las baterías se descarguen en el panel fotovoltaico. Por tanto, es el utilizado por casi todas las instalaciones, actualmente.

**2. Reguladores en paralelo;** donde el exceso de tensión se controla derivando la corriente a un circuito que disipa la energía sobrante. En la imagen puedes ver R como la resistencia de por donde se deriva la corriente sobrante. Los reguladores tipo paralelo han de disipar toda la corriente de salida del panel cuando el sistema de baterías alcanza el estado de plena carga. Crea pérdidas de potencia y reduce el valor máximo del voltaje de carga. Esto hace que los controles paralelos sean menos eficientes que la versión en serie y están en desuso hoy en día.

### 2.3.4.3 Ventajas de un regulador de carga MPPT frente a uno PWM

A continuación, se detallan algunas ventajas del regulador de carga MPPT frente a PWM:

- Logra más rendimiento de los paneles fotovoltaicos
- Permite usar paneles fotovoltaicos, en cambio, con un regulador de carga solar PWM no lo permite, por la incompatibilidad existente de la tensión del panel con la batería.

- Posibilita trabajar a mayor tensión en el campo fotovoltaico, disminuyendo caídas de tensión respectivamente y permitiendo utilizar cables de menor sección.

Por consiguiente, se eligen los reguladores en serie del tipo MPPT que tengan intensidad de carga igual a la suma de las intensidades de cortocircuito de las ramas en paralelo de paneles en la instalación.

## **2.4 Tipos de paneles fotovoltaicos**

Se distinguen 3 tipos de paneles fotovoltaicos, elaborados principalmente por semiconductores (silicio): mono-cristalinos o poli-cristalinos, según la tecnología de fabricación. A continuación, se describen cada uno de ellos:

### **2.4.1 Paneles monocristalinos**

Los paneles solares monocristalinos son los que tienen tecnología más vieja, pero es la más desarrollada a la fecha. Están hechos de un solo cristal de silicio puro, como su nombre lo indica. Este tipo de paneles tienen las mayores tasas de eficiencia, ya que se fabrican con silicio de alta pureza. La eficiencia en estos paneles está por encima del 15% y en algunos casos supera el 21%. Además, suelen funcionar mejor que los paneles policristalinos de similares características en condiciones de poca luz. En la figura 2.23 muestra un panel monocristalino.



Figura 2. 23 Panel Monocristalino

Fuente: ( Ayllu Solar, 2018)

Además, tienen una larga vida útil y eficiencia: 18% - 22%; la mayoría de los fabricantes ofrecen una garantía de 25 años en sus paneles solares monocristalinos. Pero todo esto hace que sean un poco más caros que el resto.

### 2.4.2 Paneles policristalinos

El proceso de fabricación de los paneles fotovoltaicos policristalinos es más simple, lo que redonda en menor precio. En vez de pasar por un proceso costoso y lento, los fabricantes simplemente ponen una semilla de cristal en un molde de silicio fundido y permiten que se enfríe; esta es la razón de por qué el cristal que rodea la semilla no es uniforme. La figura 2.24 muestra un panel policristalino.



Figura 2. 24 Panel Policristalino

Fuente: ( Ayllu Solar, 2018)

No obstante, teniendo en cuenta el valor económico, para uso doméstico resulta más ventajoso usar paneles policristalinos o incluso de capa fina, aunque su eficiencia es menor comparada con los monocristalinos (ronda del 13 al 16%). Por esa razón, habría que disponer de mayor espacio, para poder alojar paneles más grandes y así alcanzar el mismo rendimiento que con los monocristalinos.

### 2.4.3 Paneles solares fotovoltaicos de capa fina

Este tipo de paneles tiene como función depositar varias capas de material fotovoltaico en una base y dependiendo de cuál sea el material empleado, se encuentran paneles de capa fina de silicio amorfo (a-Si), de telurio de cadmio (CdTe), de cobre, indio, galio y selenio (GIS/CIGS) o células fotovoltaicas orgánicas (OPC).

La figura 2.25 muestra un panel de capa fina o flexible.



Figura 2. 25 Panel de Capa Fina

Fuente: ( Ayllu Solar, 2018)

Estos paneles son ligeros y generalmente, inmunes a los problemas de sombreado u obstrucciones y condiciones de poca luz, que no suelen obstaculizar su rendimiento. Pueden ser flexibles, lo que permite que se adapten a múltiples superficies.

La tabla 2.1 muestra las diferencias que existen entre ellos.

Tabla 2. 2 Diferencias entre los paneles, según la tecnología de fabricación.

Células	Silicio	Rendimiento laboratorio	Rendimiento directo	Características	Fabricación
	Monocrystalino	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 monocrystalino, 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: El autor

## 2.5 Instalación de paneles en casa

### 2.5.1 Criterios para el diseño de instalaciones de paneles solares

Para el diseño de instalaciones se debe considerar los siguientes:

- Ubicación de la zona donde se instalarán los paneles solares.
- Orientación e inclinación de los paneles solares.
- Tipo de soporte para los paneles solares.
- Condiciones del suelo o techo donde estará ubicados los soportes.
- Espacio o superficie disponible en metro cuadrado (m<sup>2</sup>).

- Radiación solar del lugar.
- Evaluación de posibles sombras.
- Condiciones generales donde va a estar ubicados
- Inclinación de los paneles fotovoltaicos.

La figura 2.26 muestra el ángulo de inclinación de los paneles solares.

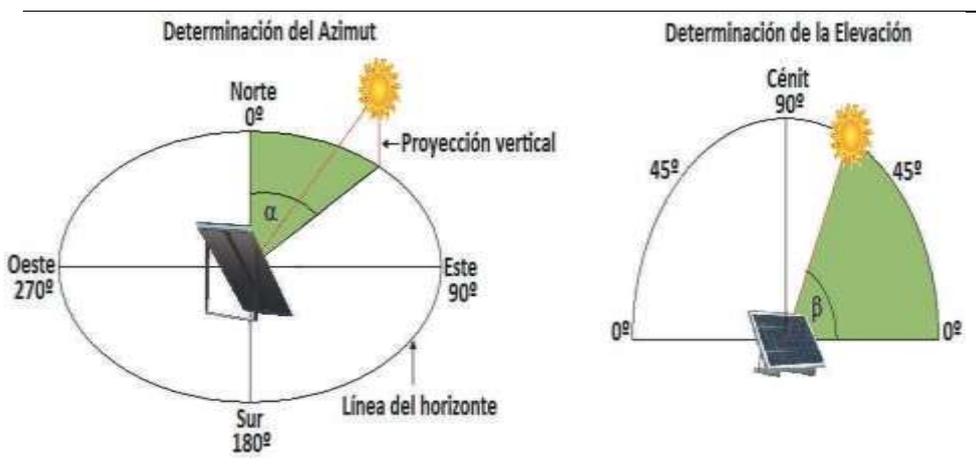


Figura 2. 26 Ángulo de inclinación de los paneles solares

Fuente: ( Ayllu Solar, 2018)

Orientación Norte

Desviación recomendada Max. 45° Oeste y Este.

Inclinación recomendada 15° y 40°

(Óptimo la latitud donde se ubica la instalación, Ejemplo: Santiago 33° inclinación recomendada 30°)

### 2.5.2 Orientación e inclinación de un panel fotovoltaico

En la figura 2.27 se puede observar ciertos criterios que se deben tener en cuenta al momento de instalar los paneles solares en una casa.

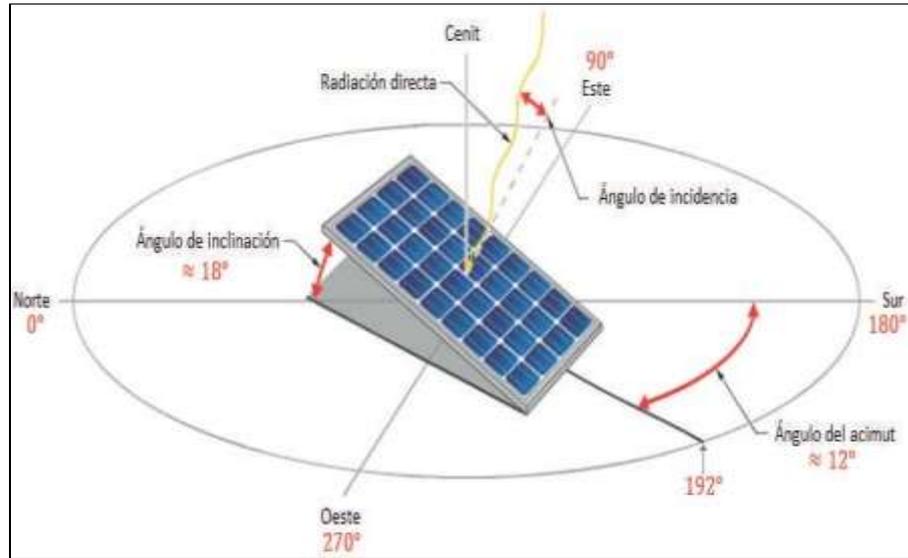


Figura 2. 27 Orientación óptima de los paneles solares

Fuente: ( Ayllu Solar, 2018)

No obstante, la ubicación de un panel fotovoltaico más adecuada en cada emplazamiento depende de la latitud y de la época del año, siendo aconsejable el estudio de radiación solar recibida para cada emplazamiento. Por otro lado, la inclinación de los módulos varía en función de las necesidades energéticas previstas y del período de utilización, a fin de hacer un balance estacional (invierno, verano) o anual. (Solar A. , 2018)

Dato: El azimut es el ángulo formado entre la dirección de referencia (el Norte) y una línea entre el observador y un punto de interés previsto en el mismo plano que la dirección de referencia.

## 2.6 Efecto sombra sobre los paneles solares

La sombra provoca una inconsistencia de energía si la productividad de un panel fotovoltaico baja demasiado, debido a la sombra y el sistema que alimenta sufre fluctuaciones de energía, lo cual, puede dañar de manera irreversible los accesorios que se utilizan, como el inversor de corriente o la batería. En la figura 2.28 se puede ver el efecto de la sombra en los paneles solares.

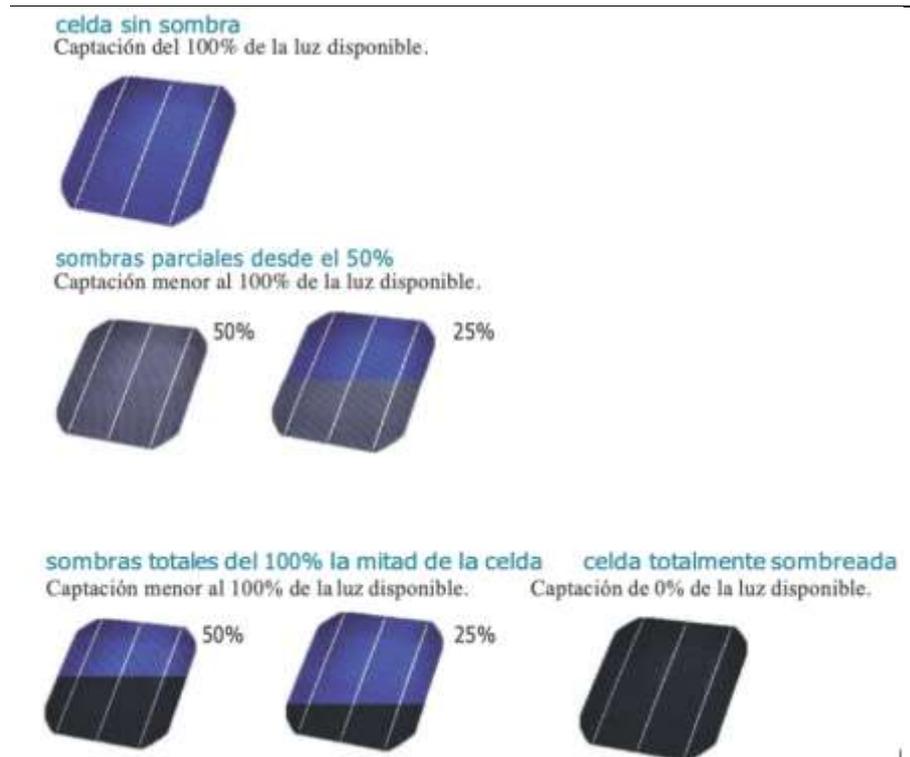


Figura 2. 28 Efecto de la sombra en los paneles solares

Fuente: ( Ayllu Solar, 2018)

### 2.6.1 Energía generada por un panel solar

Para calcular la energía generada por un panel solar durante un día ( $E_{panel}$ ), se usa la siguiente ecuación:

$$E_{panel} = I_{panel} \cdot V_{panel} \cdot HSP \cdot 0,9 [Whd]$$

Siendo:

$I_{panel}$ : corriente máxima del panel (Amperios)

$V_{panel}$ : tensión máxima del panel (Voltios)

$HSP$ : son las horas sol pico,

El valor de 0,9 es el coeficiente del rendimiento del panel (típicamente 85-90% al descontar las pérdidas).

La energía resultante esta expresada en Whd.

La misma, es la energía generada por un solo módulo solar, con varias placas solares, en los cuales se aplica la fórmula siguiente:

$$E_{generador-fotovoltaico} = I_{generador-fotovoltaico} \cdot V_{generador-fotovoltaico} \cdot HSP \cdot 0,9$$

La corriente, en este caso, es la máxima resultante de la asociación de los módulos fotovoltaicos conectados en paralelo de cada rama (string), y la tensión es la resultante de la suma de tensiones de cada rama (string) conectados en serie.

El símbolo eléctrico que se utiliza para representar gráficamente un panel fotovoltaico se muestra en la figura 2.29.

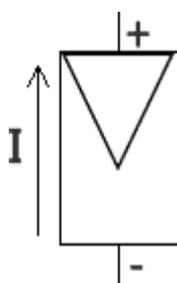


Figura 2. 29 Simbología del panel solar.

Fuente: (Alonso, 2015)

### 2.6.2 Conexión en paralelo de los paneles solares

En la mayoría de proyectos fotovoltaicos, sobre todo de las instalaciones solares aisladas y dependiendo de la potencia de la instalación, es necesario asociar varias placas en serie o paralelo para obtener los niveles de tensión y corriente deseados. Para la conexión de placas solares fotovoltaicas, hay tres opciones posibles, las cuales se describen a continuación:

- Conexión de paneles solares en paralelo
- Conexión de paneles solares en serie
- Conexión mixta de paneles solares

**Conexión de placas solares en paralelo:** se conectan todos los módulos por sus polos positivos y por separado, por todos los polos negativos. Con esto, lo que se obtiene es aumentar la corriente generada en la rama (suma de las corrientes de cada panel) pero se mantiene la misma tensión que la de uno de los paneles que componen la rama. Es decir, si se conectan los paneles en paralelo a la salida de la rama se tendrá la suma de las corrientes de cada “sub-rama” y la tensión de salida de cada “sub-rama”, como se ve el ejemplo en la figura 2.30 (Alonso, 2015)

Asimismo, una instalación fotovoltaica aislada compuesta por 3 ramas en paralelo con una placa solar de 12V, de tensión nominal máxima 18,4V y corriente máxima de 8,37A. Si no hubiera pérdidas de ningún tipo (caso hipotético), el esquema de conexión de placas solares en paralelo se podría representar así (ver figura 2.30).

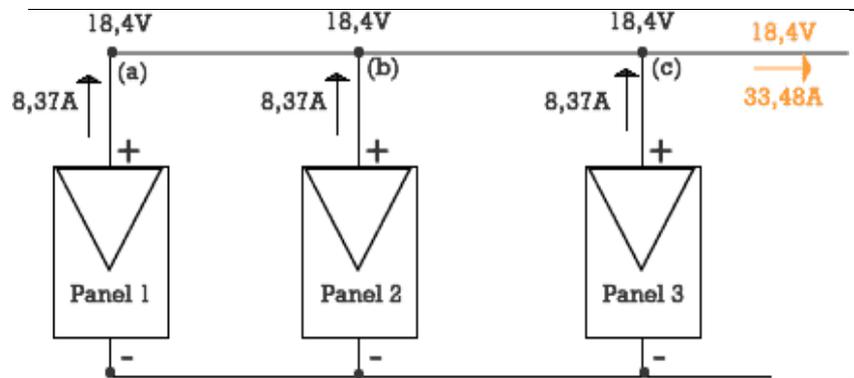


Figura 2. 30 Conexión de paneles solares en paralelo.

Fuente: (Alonso, 2015)

En el esquema, en color naranja se tiene los valores de salida del sistema de generación fotovoltaico (los llamados paneles solares de 12V por ser usados para sistemas aislados con baterías), donde la tensión de salida sería 18,4V (los paneles están conectados en paralelo) y la corriente 33,48A (al estar en paralelo se suma la corriente de cada rama a, b y c). (Alonso, 2015)

- **Conexión de módulos fotovoltaicos en serie:** Para este tipo de configuración se conecta el polo positivo de un módulo, con el polo negativo del siguiente, así sucesivamente con cuantos paneles sean necesarios. Con esto se consigue aumentar la tensión y mantener el mismo valor de corriente generada. La tensión generada es igual a la suma de cada una de las tensiones de cada panel que compone la rama (string); dicho de otro modo, se multiplica la tensión unitaria por el número de paneles de la rama, siempre se conectan paneles de las mismas características unos con otros. Véase un ejemplo en la figura 2.31- Una instalación fotovoltaica de autoconsumo compuesta por una rama con 3 paneles en serie de placas con 37,45V de tensión y 8,98A de corriente máximas. Si no hubiera pérdidas de ningún tipo (caso hipotético), el esquema de conexión de las placas en serie se podría representar así:

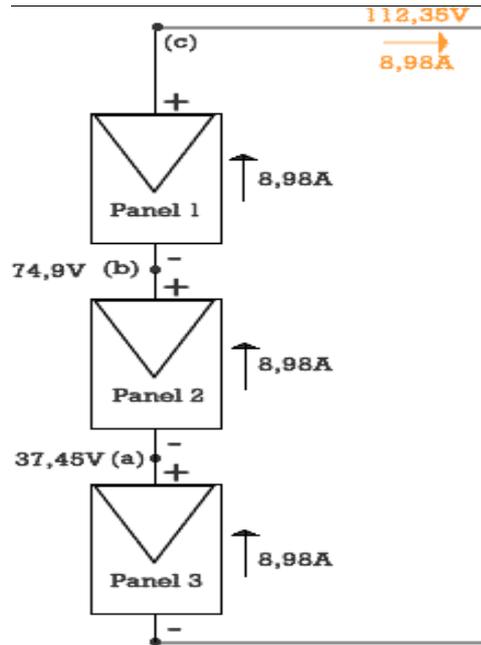


Figura 2. 31 Paneles solares conectados en serie

Fuente: (Alonso, 2015)

En color naranja, a la salida de la rama (c), la tensión resultante de la suma de cada una de las tensiones de cada panel que componen la rama en serie (112,35V) y la corriente es la misma que la de uno de los paneles (8,98A).

En caso de reemplazar un panel averiado y no se encuentra en el mercado el mismo panel, se debe adquirir un panel fotovoltaico con las siguientes especificaciones: 31,40V de tensión y 9,33A de corriente máximas.

Lo que va a suceder al conectar este módulo en serie con los demás paneles ya instalados, es que toda la rama (string) se pondrá a trabajar a la corriente de menor magnitud. En caso particular, como el módulo Solar World SW 290 tiene una corriente (9,33A), mayor que los módulos ya instalados (8,98A), no sufrirá modificaciones algunas la instalación.

En caso de que el módulo tuviese una corriente inferior a los ya instalados, afectará a todo el *string* y se producirá una caída de producción, Por tanto, no se recomienda usar módulos de sustitución con corrientes inferiores a las de los módulos instalados.

- **Conexión mixta de placas solares:** Es la última opción de configuración, en este caso es una configuración donde están ‘ramas’ con paneles conectados en serie y a su vez, estas ramas conectadas en paralelo. Dicha configuración se usa cuando unas corrientes y tensiones de salida muy determinadas se prueban las opciones que dan

los distintos tipos de conexionado. La figura 2.32 muestra un ejemplo de conexión mixta de paneles solares.

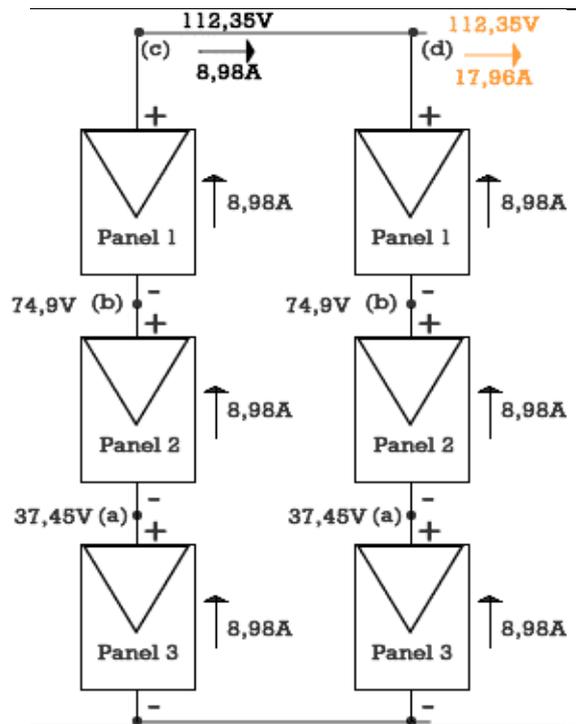


Figura 2. 32 Conexión mixta de paneles solares.

Fuente: (Alonso, 2015)

En el esquema eléctrico, en el punto (nodo) (c) de la primera rama (string) se tiene la suma de tensiones de los paneles y la corriente unitaria, en el punto (nodo) (d), que es la salida del sistema, se obtiene la misma tensión de salida de cada una de las ramas, pero como corriente de salida es la suma de la corriente de salida de cada una de las ramas, al encontrarse las dos ramas conectadas en paralelo.

**Ejemplo práctico:** Energía generada por un sistema de paneles solares.

Una vez comprendido cuánta energía genera un panel solar fotovoltaico y los tipos de conexionados que se pueda realizar, por último, se expone un caso práctico que sirva para que cualquiera pueda calcular los paneles solares necesarios para su sistema solar fotovoltaico.

Ejemplo: Adquirir unos módulos solares *SolarWorld Sunmodule Plus SW 260 Poly*.

Este modelo tiene las siguientes características:

- Tensión de circuito abierto ( $V_{oc}$ ): 38,4V
- Tensión máxima ( $V_{mpp}$ ): 31,4V
- Corriente de cortocircuito ( $I_{sc}$ ): 8,94A

- Corriente máxima ( $I_{mpp}$ ): 8,37A

Supóngase que el sistema consta de 10 paneles SolarWorld SW 260 Poly conectados en 2 ramas en paralelo con 5 paneles en serie por rama.

Ahora se calcula, en función de lo explicado hasta ahora, cuánta energía se obtiene de los paneles.

### **Conexión de paneles solares – Un caso especial**

En principio si el regulador es un regulador PWM (Modulación por anchura de pulsos) sólo dispone de un Diodo en su interior, por lo cual, el panel solar funciona a la misma tensión que las baterías solares.

Esto hace que el módulo solar no trabaje en su punto de máxima potencia, sino que trabaja en el que impone la batería según su estado de carga, produciendo una pérdida de potencia. Es decir, la tensión de salida del panel queda limitada por la tensión de la batería.

Si se compra un regulador de carga PWM, este es capaz de llenar por completo la batería gracias a que introduce la carga de forma gradual, a pulsos de tensión, en la fase de flotación y fase de absorción (llenado total). Esto se produce porque la corriente se va introduciendo poco a poco hasta que la batería se llena de manera óptima y estable.

Entonces, si se tiene un panel SolarWorld SW 150 Poly, de 18,4V de tensión máxima y el regulador la carga de absorción como máximo a la batería es de 14,2V, lo que se produce es que el módulo no trabaja en su máxima potencia significando una pequeña pérdida de energía.

Ahora póngase el caso de compra de un regulador solar MPPT, en este caso la energía que entra y sale del regulador es la misma, al igual que en los reguladores PWM, pero la tensión y la corriente son diferentes a un lado y a otro. Con ello se consigue aumentar la tensión del panel solar y aumentar la producción solar respecto a los reguladores PWM.

En este caso el regulador es capaz de trabajar siempre en el punto de máxima potencia el panel, sin tener ningún tipo de pérdida. (Alonso, 2015).

## **2.7 Protecciones**

Los fusibles han sido dimensionados para corriente máxima del sistema y debe corresponder aproximadamente al 80% de la corriente nominal del fusible, mientras

que para el voltaje nominal del fusible debe ser igual o superior al voltaje del circuito donde se instale el fusible.

Los fusibles seleccionados deben ser entonces de un voltaje nominal mayor o igual a 27 voltios, con una corriente nominal igual pero no muy mayor a 46 amperios.

## **2.8 Puesta a tierra**

La puesta a tierra es una conexión eléctrica entre una parte conductora que no pertenece al circuito y una toma de tierra, compuesta por un electrodo o varios de ellos enterrados en el suelo. La finalidad de esta conexión es proveer a la corriente un camino de poca resistencia, para proteger a las personas de una posible electrocución en caso de una fuga de electricidad. Dentro de los sistemas fotovoltaicos se debe poner a tierra todas las partes expuestas metálicas no portadoras de corriente, como son las estructuras y soportes metálicos de los módulos, del regulador de carga, de las baterías y la carcasa del inversor, así lo determina el Código Eléctrico Nacional en el artículo 690-43.

Sin embargo, para la conexión a tierra se puede utilizar electrodos fabricados, los mismos que según el artículo 250-83 del Código Eléctrico Nacional, indica que, si es posible, estos deben ser enterrados por debajo del nivel de humedad permanente (nivel freático) y deben estar libres de recubrimientos no conductores como pintura o esmalte. Un tipo de electrodo que cumple con estas características es la varilla para tierra *Copperweld*. La sección del conductor de puesta a tierra de equipos en sistemas fotovoltaicos, debe tener una sección no menor a la de los conductores de los circuitos, siempre y cuando la corriente de cortocircuito de la fuente de alimentación sea menor al doble de la corriente nominal del dispositivo de protección contra sobre corriente. Para este caso de estudio la corriente de cortocircuito del generador fotovoltaico es 33,06 amperios, que es menor al doble de la corriente nominal del fusible (92 amperios) que se determinó en la sección anterior. Por lo tanto, se puede utilizar un cable de cobre AWG número 10 o número 8.

No obstante, los marcos de la mayoría de paneles FV, cuentan con un terminal de tierra debidamente identificado, mientras que aquellos que no lo poseen, presentan varios orificios en el marco, para de esa forma utilizar cualquiera de ellos y realizar

la conexión a las estructuras metálicas de soporte (también cuentan con un terminal de tierra) como se muestra en la figura 2.33. (Alonso, 2007).

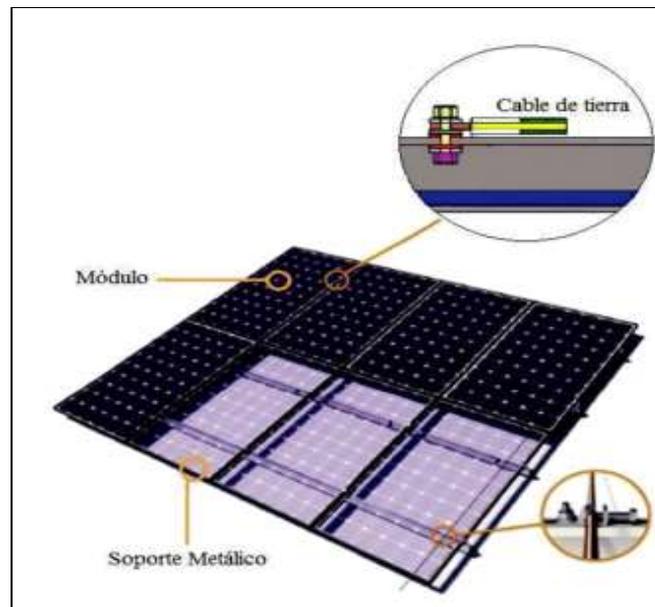


Figura 2.33 Conexión de puesta a tierra del panel FV

Fuente: (Alonso, 2007)

Posteriormente, se debe conectar el cable al electrodo, el mismo que para este caso de estudio, será una varilla *Copperweld* enterrada lo más cerca posible de la estructura metálica de soporte de los paneles solares. El mismo procedimiento se debe realizar para los soportes metálicos de los demás equipos. La conexión de la puesta a tierra del generador fotovoltaico se muestra en la figura 2.34.

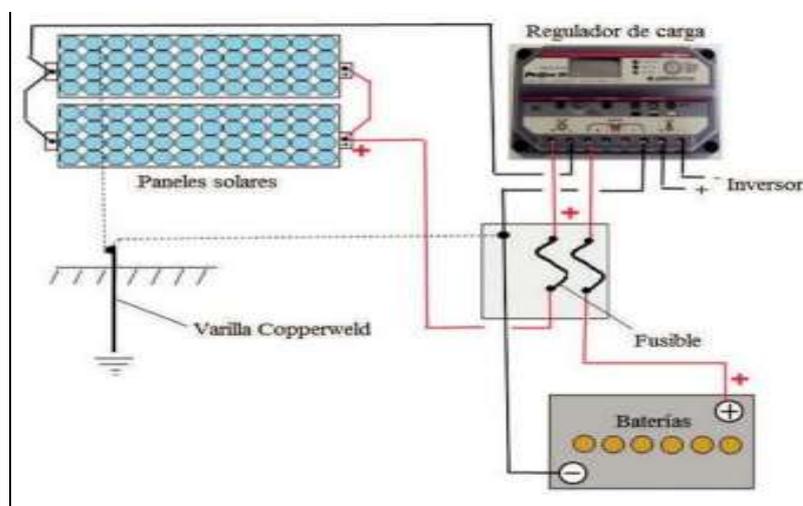


Figura 2.34 Puesta a tierra del sistema fotovoltaico

Fuente: (Alonso, 2007)

De esta manera, se ha dimensionado un sistema básico de sistema de riego utilizando paneles FV para alimentar la bomba de agua. En la figura 2.35 se aprecia un esquema del sistema básico de bombeo para sectores rurales.

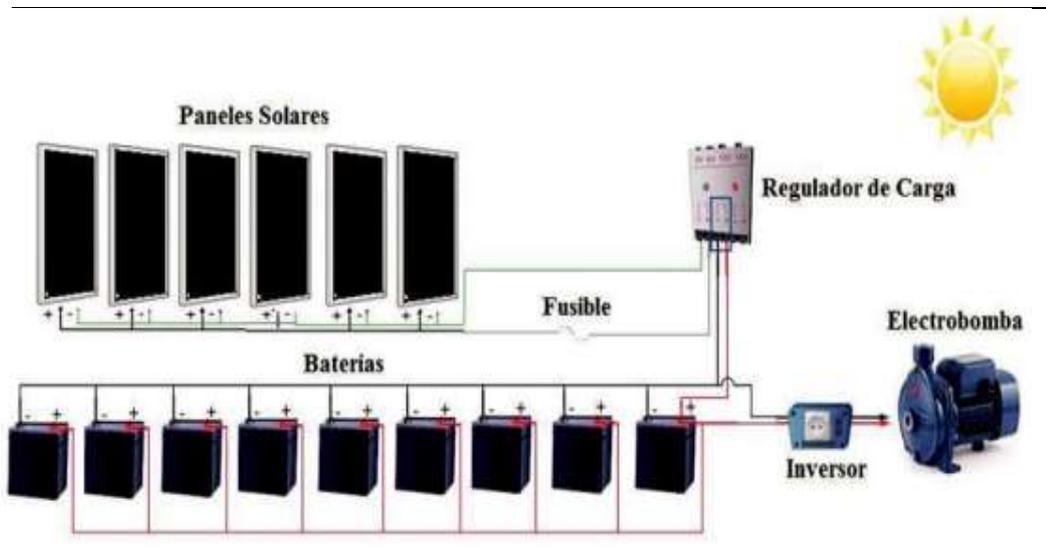


Figura 2. 35 Sistema de bombeo fotovoltaico dimensionado para una zona rural

Fuente: (Alonso, 2007)

## 2.9 Normativas

El Artículo 63 de la Ley de Régimen del Sector Eléctrico, establece que el Estado fomentará el desarrollo y uso de los recursos energéticos no convencionales a través de los organismos públicos, la banca de desarrollo, las universidades y las instituciones privadas. Por tanto, la seguridad energética para el abastecimiento de la electricidad debe considerar la diversificación y participación de las energías renovables no convencionales, a efectos de disminuir la vulnerabilidad y dependencia de generación eléctrica a base de combustibles fósiles. Es de fundamental importancia la aplicación de mecanismos que promuevan y garanticen el desarrollo sustentable de las tecnologías renovables no convencionales, considerando que los mayores costos iniciales de inversión, se compensan con los bajos costos variables de producción, lo cual, a mediano plazo incidirá en una reducción de los costos de generación y beneficio a los usuarios finales.

Asimismo, para disminuir a corto plazo la dependencia y vulnerabilidad energética del país, es necesario mejorar la confiabilidad en el suministro, para lo cual se requiere acelerar el proceso de diversificación de la matriz energética,

prioritariamente con fuentes de energía renovable no convencionales –ERNC–, para contribuir a la diversificación y multiplicación de los actores involucrados, generando así nuevas fuentes de trabajo y el desarrollo de una tecnología propia.

Que, la apertura a la competencia del Mercado Eléctrico Mayorista se justifica sobre la base de una generación que a la vez que garantice el suministro, respete el medio ambiente, incorporando tecnologías que la resguarden y preserven la utilización de los recursos no renovables, especialmente en zonas altamente sensibles como la Provincia Insular de Galápagos;

Que, como parte fundamental de su política energética, la mayoría de países a nivel mundial, vienen aplicando diferentes mecanismos de promoción a las tecnologías renovables no convencionales entre las que se incluyen las pequeñas centrales hidroeléctricas, lo que les ha permitido desarrollar en forma significativa este tipo de recursos;

Que, el Art. 64 de la Ley de Régimen del Sector Eléctrico, establece que el CONELEC dictará las normas aplicables para el despacho de la electricidad producida con energías no convencionales tendiendo a su aprovechamiento y prioridad;

Que, en la parte final del Art. 53, del Reglamento General de la Ley de Régimen del Sector Eléctrico, se establece que la operación de las centrales de generación que utilicen fuentes no convencionales se sujetará a reglamentaciones específicas dictadas por el CONELEC;

Que, para el cumplimiento de las políticas y disposiciones legales y reglamentarias, referidas en los considerandos anteriores, tanto en el Reglamento de Despacho y Operación del Sistema Nacional Interconectado como en el Reglamento Sustitutivo para el Funcionamiento del Mercado Eléctrico Mayorista, se han dictado las normas que permitirán el Despacho y Operación de las unidades que utilizan energías renovables no convencionales;

Concretamente en el Art. 21 del Reglamento últimamente citado, se ha fijado la facultad del CONELEC para establecer los precios que el CENACE debe utilizar para valorar la producción de cada una de estas plantas, sobre la base de referencias internacionales, cuyo valor total será distribuido proporcionalmente a las transacciones económicas realizadas por los distribuidores y grandes consumidores en el MEM;

Y, en ejercicio de las facultades otorgadas por los literales a) y e) del Art. 13 de la Ley de Régimen del Sector Eléctrico. (CONELEC, 2015)

## 2.10 Tipos de infraestructuras con sistemas fotovoltaicos

Se detallan dos tipos de instalaciones fotovoltaicas aisladas con acumulación. Un sistema que más se pueda ajustar para su vivienda o negocio. Ante cualquier duda, y sin compromiso.

### 2.10.1 Instalaciones DC-coupling. (sistema clásico)

Las instalaciones aisladas clásicas, consisten en un grupo de paneles que generan electricidad para almacenarla en unas baterías. Esa energía almacenada es la que usamos cuando hay demanda de consumo, normalmente a través de un inversor.

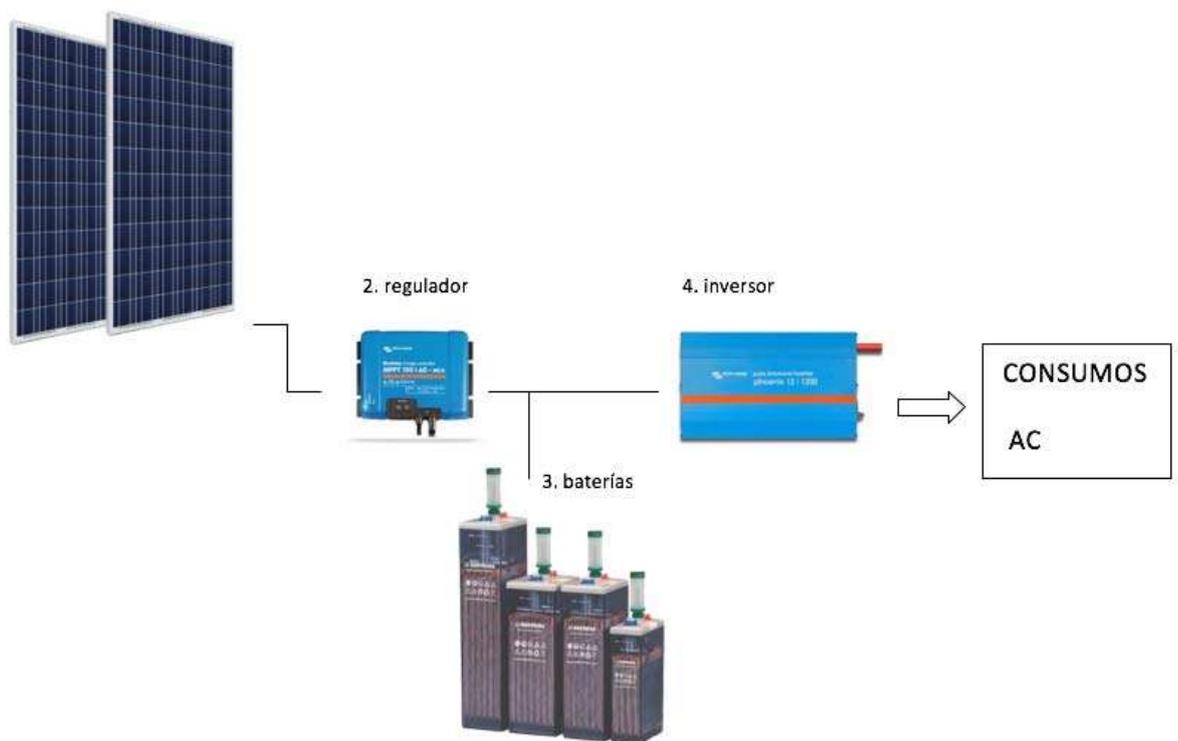


Figura 2.36 sistema fotovoltaico de coupling

Fuente: ( Auto Solar, 2019)

Se indican las siguientes generosidades:

1. Los paneles son los encargados de generar electricidad en corriente continua.
2. El regulador es el encargado de regular el proceso de carga y cuidar del estado de la batería.

3. En el sistema de baterías se almacenará la energía generada por los paneles solares.
4. Cuando el inversor detecte consumo, cogerá la energía necesaria de las baterías, la transformará en corriente alterna (CA) y abastecerá las necesidades.

Si se tienen consumos en corriente continua (DC), se prescindirá del inversor y se llevarán desde la salida DC del regulador.

También este ha sido el sistema tradicional y el más extendido hasta la actualidad.

### 2.10.2 Instalaciones AC-coupling. (sistema híbrido)

Se trata de un sistema indicado para instalaciones solares de mayor envergadura, y siempre para alimentar consumos en corriente alterna. En este tipo de instalaciones se convierte la energía producida por los paneles inmediatamente en corriente alterna a través de un inversor de conexión a red. Por tanto, se alimenta buena parte del consumo directamente sin pasar por baterías.



Figura 2. 37 Sistema fotovoltaico híbrido para residencias

Fuente: (Casas, 2019)

#### 2.10.2.1 Modo de trabajo

1. Cuando hay consumo en la vivienda y generación de electricidad en paneles:

A) Si la generación en paneles es mayor al consumo demandado, se consume directamente desde el inversor de red sin pasar por las baterías. (ver figura 2.38)

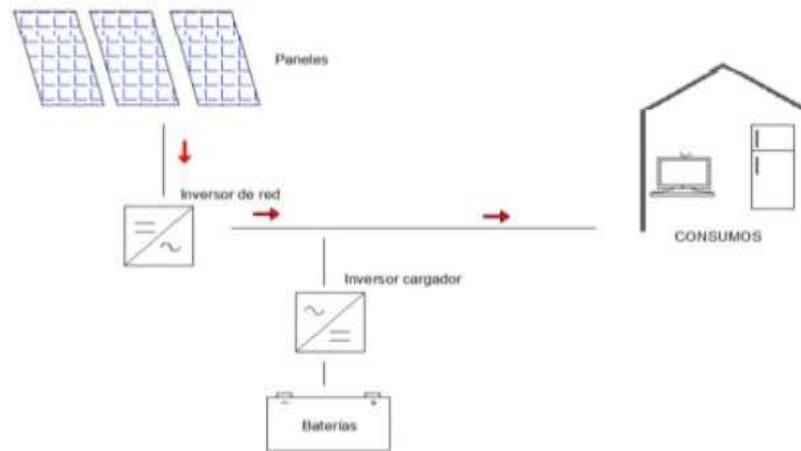


Figura 2. 38 Instalación híbrida FV sin pasar por batería

Fuente: (Tecnosol, 2016)

El exceso de energía solar (la que no se está utilizando) se utiliza para cargar las baterías. (ver figura 2.39)

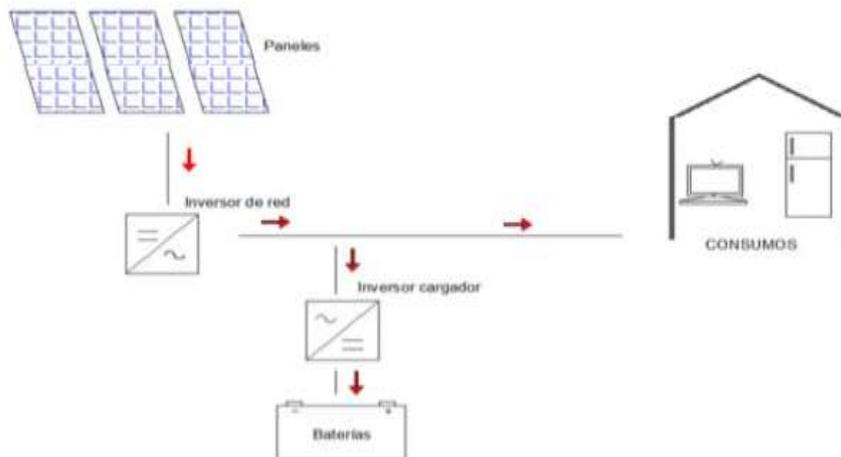


Figura 2. 39 Instalación híbrida FV con carga en batería

Fuente: (Tecnosol, 2016)

B) Si hay una demanda de consumo mayor a la energía capaz de generar en paneles, la energía que falta se aporta desde las baterías. (ver fig. 2.40)

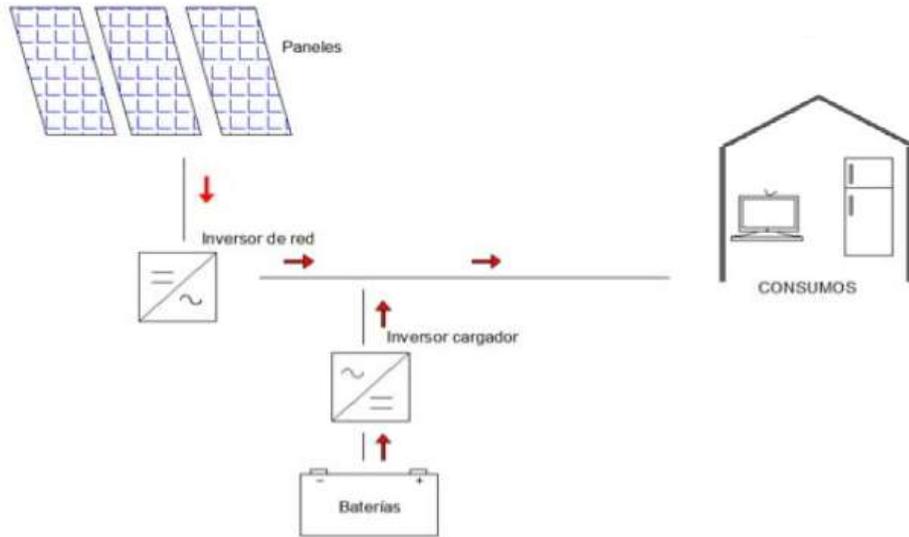


Figura 2. 40 Caso de demanda o consumo mayor y respaldo de energía por medio de batería

Fuente: (Tecnosol, 2016)

2. Si hay generación de electricidad procedente de paneles y no hay consumo:

A través del inversor cargador se deriva al sistema de baterías, dónde se acumula la energía mientras no estén llenas. (ver fig. 2.41)

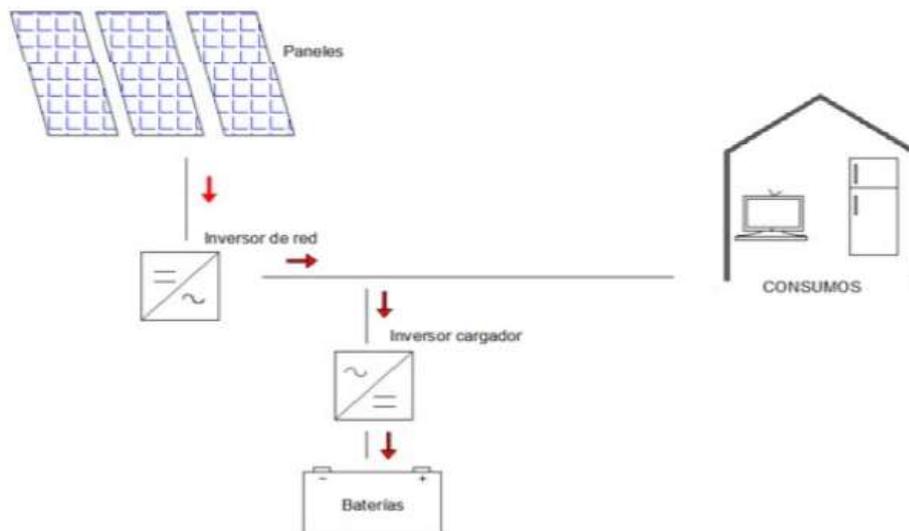


Figura 2. 41 Caso de carga en batería, no existe consumo eléctrico

Fuente: (Tecnosol, 2016)

3. En el caso que estén las baterías descargadas y no hay producción de energía procedente de paneles: (ver fig.2.42)

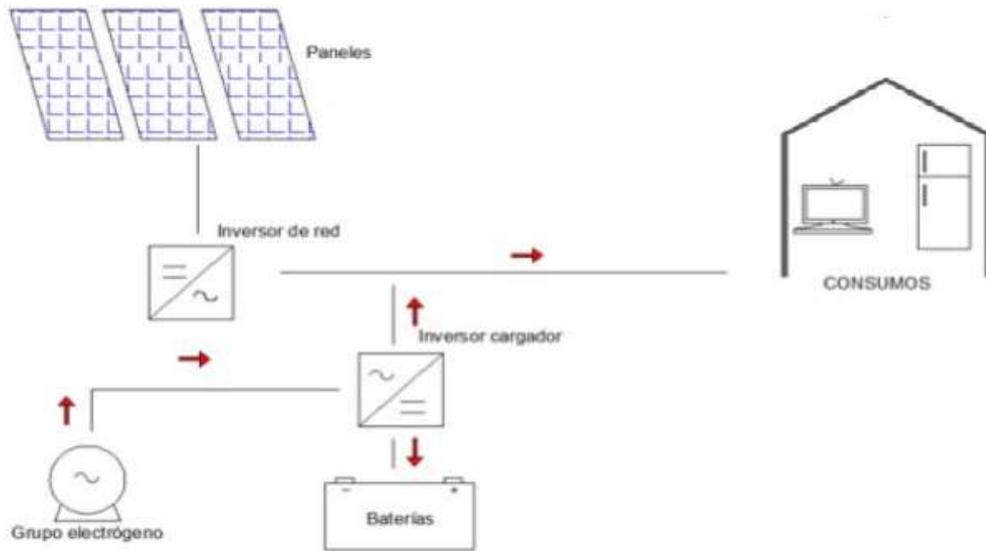


Figura 2.42 Caso de batería descargada y respaldo por generador eléctrico

Fuente (Tecnosol, 2016)

El inversor cargador trabaja como cargador de baterías. A través de un grupo electrógeno se pueden cargar.

Si hay consumo mientras se están cargando las baterías, el mismo es abastecido por el grupo electrógeno.

Actualmente hay inversores llamados “híbridos” que unifican las funciones del inversor de conexión a red y el inversor cargador, en un único aparato.

## CAPÍTULO 3: CRITERIOS DE DIMENSIONAMIENTO DE SISTEMA FOTOVOLTAICO RESIDENCIAL

### 3.1 Dimensionamiento de un sistema fotovoltaico

Dado que la energía producida por un módulo fotovoltaico se calcula a partir de la irradiación solar o energía solar incidente, es posible definir diferentes capacidades del módulo para diferentes períodos temporales. Por ejemplo, si están disponibles las medias mensuales de radiación es posible calcular las respectivas capacidades mensuales de este. Asimismo, es muy común recurrir al denominado “*peor mes*”, siendo aquel con la peor relación de radiación incidente.

Para el caso de los datos suministrados por la NASA *Surface meteorology and Solar Energy*, para el año 2014 se puede verificar en el resumen de la tabla 3.1 que el mes peor corresponde al mes de junio, a la vez que se observa que en el mes de noviembre se tiene el mejor índice de irradiación sobre los puntos geográficos de latitud y longitud.

Tabla 3. 1 Radiación solar diaria horizontal año 2014 NASA.

Mes (2014)	Radiación Solar Diaria [kWh/m <sup>2</sup> /d]
Enero	4,39
Febrero	4,25
Marzo	4,45
Abril	4,33
Mayo	4,19
Junio	4,15
Julio	4,19
Agosto	4,49
Septiembre	4,55
Octubre	4,54
Noviembre	4,73
Diciembre	4,57

Fuente. NASA, 2014

#### 3.1.1 Modelos de estimación para irradiancia solar

De acuerdo con los recientes desarrollos en la calibración de la instrumentación radiométrica solar de banda ancha y las mejoras de la exactitud de las medidas de radiación solar de banda ancha, se perfila una mejora en lo referente a la radiación

difusa y la calibración de los radiómetros y el software de caracterización para las calibraciones del piranómetro al aire libre (Myers, 2003).

Varios modelos de estimación de la radiación solar de banda ancha, incluyendo algunos desarrollados en el Laboratorio Nacional de Energía Renovable de los Estados Unidos, para la estimación de la radiación directa, total, hemisférica y difusa incluyendo el modelo de cielo claro de Bird para la radiación solar global, directa y difusa, el Código de Simulación de la Insolación Directa (Direct Insolation Simulation Code, DISC) para la estimación de la radiación directa a partir de mediciones globales, y los modelos METSTAT (Meteorological and Statistical) y Climatological Solar Radiation (CSR) para estimar la radiación solar a partir de los datos meteorológicos, presentan, en la actualidad, incertidumbres que son representativas de la incertidumbre en los datos medidos (Myers, 2003).

Los errores entre 25 y 100 W/m<sup>2</sup> son posibles en los datos pirheliométricos y los errores de 25 W/m<sup>2</sup> en los datos pirheliométricos pueden ocurrir bajo condiciones de cielo claro. Estos errores instrumentales son importantes si se modelan perfiles instantáneos, horarios, subhorarios o diarios. Los análisis de totales anuales de datos corregidos y no corregidos han mostrado diferencias de menos del 0.1% en el resultado (Wilcox, y otros, 2001).

La tabla 3.2 muestra links para consultar la irradiancia, solo basta poner las coordenadas, latitud, longitud y se halla los valores o registros de irradiancia

Tabla 3. 2 Links con registro global de irradiancia solar

<a href="http://eosweb.larc.nasa.gov/sse/">http://eosweb.larc.nasa.gov/sse/</a>	<a href="http://solar.ujaen.es/cursolar.HTM">http://solar.ujaen.es/cursolar.HTM</a>
<a href="http://rredc.nrel.gov/solar/">http://rredc.nrel.gov/solar/</a>	<a href="http://energy.caeds.eng.uml.edu/">http://energy.caeds.eng.uml.edu/</a>
<a href="http://www.helioclim.net/">http://www.helioclim.net/</a>	<a href="http://sky.net.co/energia/">http://sky.net.co/energia/</a>

Elaborado por el autor

### 3.2 Base de datos meteorológicos solares

La cantidad de irradiación solar global o total que incide al día sobre los módulos solares, se expresa en kWh/m<sup>2</sup>/día o su equivalente en horas efectivas de Sol (HSP). Estos datos se pueden obtener de los archivos facilitados por la página de la NASA, el cual incluye parámetros meteorológicos de temperatura, velocidad del viento y radiación solar.

Así también el MEER ha elaborado mapas solares del Ecuador y de las distintas estaciones pertenecientes al Instituto Nacional de Eficiencia Energética y Energías Renovables (INER).

### 3.2.1 Base de datos de irradiancia de últimos 5 años.

La base de datos proporcionada para el año 2014 consta de 8760 muestras de irradiancia global promedio (SRGLOAVG1H), los cuales son medidas con intervalos de una hora, inicia el 1 de enero y finaliza el 31 de diciembre, los resultados obtenidos se puede apreciar en la figura 3.1.

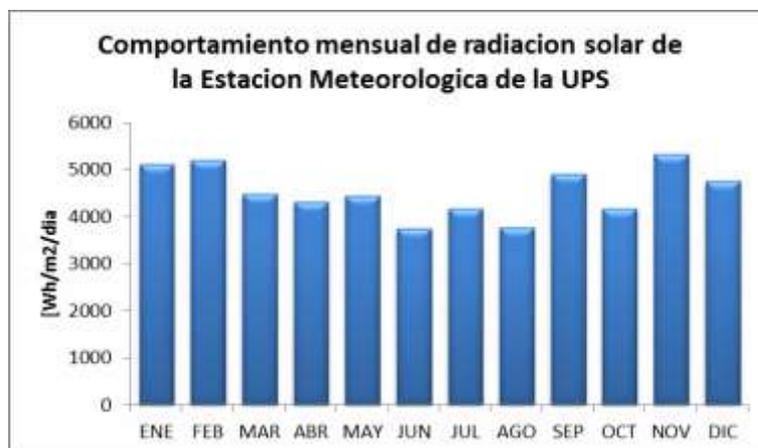


Figura 3.1 Base de datos de radiación Solar en todo un año

Fuente: ( Morocho & Ríos, 2015, pág. 47)

Un tratamiento de los resultados de radiación solar ha sido tomado de un trabajo de titulación denominado “Estudio técnico para incorporar generación distribuida fotovoltaica en el sector residencial del cantón Cuenca”, tomando los siguientes resultados de la estación meteorológica ubicada en la Universidad Politécnica Salesiana sede Cuenca. (Morocho & Ríos, 2015).

Tabla 3.3 Promedio mensual de radiación de la estación UPS

	RADIACION SOLAR-GLOBAL DIARIA-PARA-EL-AÑO 2014 [kWh/m²/día]											
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Prom.	5119	5208	4486	4327	4444	3761	4183	3773	4916	4182	5336	4759
Máx.	6915	7863	6532	7365	6929	5582	6409	5968	7957	6838	7900	7369
Mín.	2649	1939	2048	2375	2425	1889	1951	1599	2319	1902	2660	2281

Fuente. (Morocho & Ríos, 2015)

Los valores de radiación solar promedio obtenidos en la tabla 3.3, permiten concluir que el mes de junio del año 2014, la radiación solar fue la más baja de todo el año, coincidiendo estos resultados con los valores obtenidos en la tabla 3.1, motivo por el cual se toma como referencia este mes para obtener las HSP que se aplican en el

cálculo de cualquier proyecto de producción de electricidad con paneles fotovoltaicos.

### 3.2.2 Estimación del valor HSP para “mes con baja radiación solar”

La información obtenida no es lo suficiente como para establecer un modelo estadístico aplicable a un valor de HSP, como se observa a continuación en las gráficas para los meses con menor y mayor radiación en el año 2014 respectivamente, se tiene unos picos de radiación que están por debajo de los 1000 W/m<sup>2</sup> que son las CEM para que un panel solar fotovoltaico pueda obtener su potencia nominal.

Cabe indicar que los datos registrados en 2014 hasta la actualidad, resulta de vital para el desarrollo de proyectos con paneles fotovoltaicos, pues indican la cantidad de energía que se recibe por meses y años. Así se tendrá un promedio de energía y se puede determinar el HSP promedio, así se indica que para el Ecuador desde las 10 de la mañana hasta las 3 de la tarde es ideal la curva HSP.

Véase la figura 3.2. con datos de irradiancia solar en el mes con menor grado de radiación solar

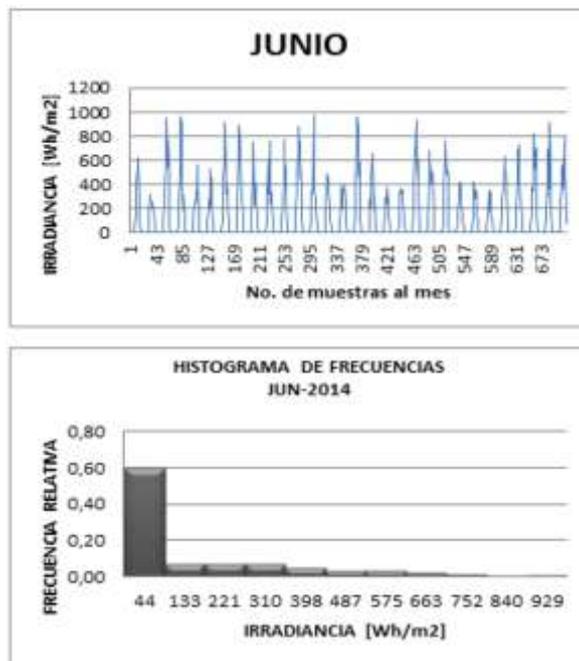


Figura 3. 2 Irradiancia e histogramas de frecuencia para el mes de junio 2014

Fuente: (Morochó & Ríos, 2015, pág. 47)

En la tabla 3.4 se determina que un 60% de las muestras obtenidas en el mes de junio no superan 88 Wh/m<sup>2</sup>.

Tabla 3. 4 Cálculo del histograma de frecuencias

CLASE	L. inf	L. sup	mi	ni	Ni	fi	Fi
1	0	88,45	44	433	433	0,60	0,601
2	88,45	176,91	133	51	484	0,07	0,672
3	176,91	265,36	221	52	536	0,07	0,744
4	265,36	353,82	310	51	587	0,07	0,815
5	353,82	442,27	398	38	625	0,05	0,868
6	442,27	530,73	487	25	650	0,03	0,903
7	530,73	619,18	575	27	677	0,04	0,940
8	619,18	707,64	663	17	694	0,02	0,964
9	707,64	796,09	752	11	705	0,02	0,979
10	796,09	884,55	840	5	710	0,01	0,986
11	884,55	973,00	929	10	720	0,01	1,000

Fuente. (Morocho & Ríos, 2015)

Por tal motivo, se prevé realizar uso de los aportes instantáneos, los cuales se hace durante cada día del mes de junio para obtener las horas efectivas de sol. La tabulación se puede ver en la tabla 3.5.

Tabla 3. 5 Estimación de la HSP para el mes peor

JUNIO										
DIA	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Kwh/m <sup>2</sup> /Día	3,0	2,1	5,2	5,2	2,7	2,7	4,4	4,8	3,7	3,6
DIA	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Kwh/m <sup>2</sup> /Día	3,7	5,3	3,8	3,0	2,9	5,6	3,7	2,0	2,5	5,5
DIA	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Kwh/m <sup>2</sup> /Día	4,4	4,5	2,4	2,4	1,9	3,8	4,5	4,6	4,6	4,4
Promedio de HSP en el mes de Junio =3,98										

Fuente. (Morocho & Ríos, 2015)

Este resultado indica que, durante el mes de junio del año 2014, se obtuvo una radiación de 1000W/m<sup>2</sup> promedio durante 3,98 horas de cada día del mes. Véase la figura 3.3.

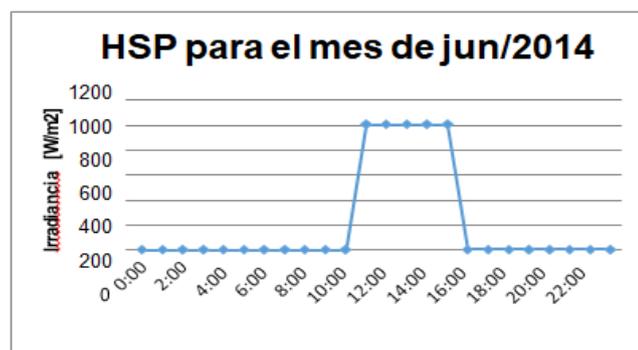


Figura 3. 3 Horas efectivas de Sol.

Fuente: (Morocho & Ríos, 2015)

### 3.2.3 Estimación del ángulo de inclinación según coordenadas geográficas

La estimación del ángulo óptimo de inclinación de un panel solar se analiza a partir de la ubicación geográfica, en donde está ubicado un SFA; pues, las coordenadas de latitud y longitud de la ubicación del proyecto son fácilmente encontradas con la utilización de un sistema de posicionamiento Global (GPS) o por alguno de los diversos softwares existentes en internet.

Un largo y complejo análisis experimental fue realizado, sin embargo, se pudo elaborar la siguiente tabla.

Tabla 3. 6 Irradiación calculada de paneles Policristalinos

Irradiación Calculada de Paneles Policristalinos			
Inclinación	Voltaje Max.	Temperatura	Irradiación
°	V	°C	Wh/m <sup>2</sup> /día
Inclinación 0	17,41	21,9	366,552
Inclinación 5	17,97	21,9	525,667
Inclinación 5,7	16,81	21,9	227,747
Inclinación 10	19,40	22,2	1234,642
Inclinación 15	15,87	22,1	55,809
Inclinación 20	17,53	22,1	403,761

Fuente: (Peña & Pinos, pág. 91)

Realizando un análisis de los datos de voltaje, temperatura e irradiancia y haciendo los cálculos se determina, que la mejor opción para una latitud de  $-2.88^\circ$  y una longitud de  $-78.98^\circ$  es un ángulo de inclinación es  $\beta_{opt} = 10^\circ$ . (Peña & Pinos, 2014)

### 3.3 Selección del panel fotovoltaico

Teniendo en cuenta que la energía que produce en el arreglo de los paneles fotovoltaicos es directamente proporcional a la insolación que recibe. Asimismo, el consumo tiene un comportamiento proporcional a la producción de energía.

Se realiza un ejemplo de cálculo de sistema fotovoltaico en una parada de buses.

La carga a instalarse en el sistema de iluminación de una parada de buses está compuesta por:

- Luminarias LED strip de 3,8 W.
- Autoconsumo del controlador 0,108 W.

En este aspecto se puede suponer que un panel de 20W cubriría fácilmente la demanda de potencia que requiere el sistema, esto es una hipótesis planteada, ya que para el caso de dimensionamiento de paneles solares se debe considerar la energía que consume el sistema y la energía que es capaz de generar un panel solar por cada día tomando en cuenta las horas efectivas de sol.

- **Dimensionamiento de un panel solar**

En este se hará énfasis al dimensionamiento de paneles solares tratados en “cálculo de una instalación aislada” (Pareja, pág. 65)

**Cálculo de la potencia máxima:**

Ejemplo:

- Luminarias LED tipo *strip* de 0,3167A, cada una con un funcionamiento de 4 horas al anochecer y 2 horas al amanecer.
- Autoconsumo de 9 mA generado por el SFA durante las 24 horas del día.

$$P_{max} = \sum cantidad * horas * P_{nombre\_equipo} [Wh/d]$$

Tabla 3. 7 Estimación del consumo de energía del SFA.

Equipo	Cantidad	Corriente	Voltaje	T. consumo	Potencia
Luminarias	5	0,3167	12	6	114,00
Autoconsumo	1	0,009	12	24	2,592
Carga Instalada [Wh/d]:					116,592

Fuente. El autor

$$P_{max} = 116,592 [Wh/d]$$

**Cálculo del consumo máximo:**

$$I_{ins\_max} = \frac{P_{max}}{V_{bateria}} \left[ \frac{Ah}{d} \right]$$

$$I_{ins\_max} = \frac{116,592 Wh/d}{12 V} \left[ \frac{Ah}{d} \right]$$

$$I_{ins\_max} = 9,716 \left[ \frac{Ah}{d} \right]$$

Se establece un margen de seguridad de 10%.

$$I_{max} = I_{ins\_max} + I_{ins\_max} * 10\% = 1,1 * I_{ins\_max} [Ah/d]$$

$$I_{max} = 1.1 * 9.716 [Ah/d]$$

$$I_{max} = 10.6876 [Ah/d]$$

$$K_T = [1 - (K_B + K_C + K_R + K_x)] * \left[ 1 - \frac{K_A * D_{aut}}{P_d} \right]$$

Siendo:

$K_T$ : pérdidas totales.

$K_A$ : pérdidas debido a la autodescarga (0,5%).

$K_B$ : pérdidas debidas al rendimiento de la batería (5-10%).

$K_C$ : pérdidas debido al rendimiento del convertidor (5-20%).

$K_R$ : pérdidas debidas al rendimiento del regulador (5-10%).

$K_x$ : otras pérdidas no contempladas (5-20%).

$D_{aut}$ : días de autonomía.

$P_d$ : profundidad de descarga de la batería.

$$K_T = [1 - (0,05 + 0 + 0,1 + 0,15)] * \left[ 1 - \frac{0,005 * 1}{0,6} \right]$$

$$K_T = 0,69$$

$$C_{max} = \frac{I_{max}}{K_T} \left[ \frac{Ah}{d} \right]$$

$$C_{max} = \frac{10,6876}{0,69} \left[ \frac{Ah}{d} \right]$$

$$C_{max} = 15,4 \left[ \frac{Ah}{d} \right]$$

### Cálculo del número de paneles:

$$E_{panel} = I_{panel} \cdot HSP \cdot \eta_{panel} \left[ \frac{Ah}{d} \right]$$

Siendo:

$E_{panel}$ : energía generada por un panel solar

$I_{panel}$ : corriente máxima del panel (dato de catálogo)

HSP: horas de suficiente radiación (se obtiene por estimaciones en estaciones meteorológicas)

$\eta_{panel}$ : rendimiento del panel (85-95%)

Para un panel solar de 100 Wp se tiene una corriente máxima por catálogo de 5,71A.

$$E_{panel} = 5,71 \cdot 4 \cdot 90\% \left[ \frac{Ah}{d} \right]$$

$$E_{panel} = 20,56 \left[ \frac{Ah}{d} \right]$$

Con estos valores de energía generada por los paneles, se puede calcular el número de paneles en paralelo que puedan abastecer el consumo proyectado del sistema.

$$\frac{C_{max}}{E_{panel}} = \frac{15,4}{20,56}$$

$$\frac{C_{max}}{E_{panel}} = 0,75 \rightarrow 1 \text{ panel de } 100W$$

### Cálculo de la capacidad de la batería:

$$\frac{C_{max} \cdot D_{aut}}{P_d} [Ah] = \frac{15,4 \cdot 1}{0,6} [Ah]$$

$$\frac{C_{max} \cdot D_{aut}}{P_d} = 25,66Ah$$

Para una autonomía de 10 horas con una batería de 40 Ah, se debe consumir una corriente nominal de 4 A.

$$\frac{C_{bateria}}{C_{nominal_{UCG45-12}}} = \frac{25,66}{40}$$

$$\frac{C_{bateria}}{C_{nominal_{UCG45-12}}} = 0,6415 \rightarrow 1bateria$$

## CAPÍTULO 4: LEVANTAMIENTO DE CARGAS ELÉCTRICAS

El presente capítulo contempla detallar el levantamiento de información en cuanto a cargas eléctricas, en la casa comunal Los Paracaidistas.

### 4.1 Ubicación

Dicha cooperativa se encuentra ubicada en el kilómetro 27 vía perimetral, parroquia Tarqui, es considerada como sector popular y vulnerable de la ciudad de Guayaquil. (El Telégrafo: septiembre 2015).

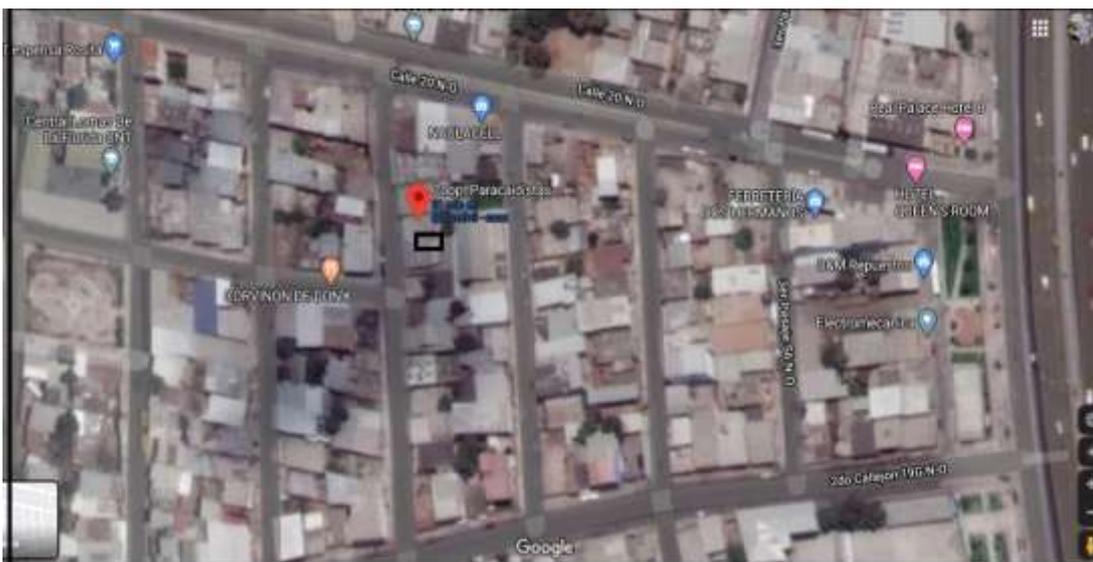


Figura 4. 1 Vista satelital de la cooperativa Los Paracaidistas

Fuente: Google Maps, 2020

#### 4.1.1 Inspección a área de casa comunal

En dicha cooperativa el Municipio de Guayaquil edificó una casa comunal en el sector de la cooperativa Los Paracaidistas, aunque también pueden utilizar sus instalaciones los moradores de otras cooperativas aledañas, como son: Horizontes del Guerrero, Colinas de la Florida etc.

En la figura 4.2 se muestra la casa comunal en la cooperativa Los Paracaidistas, y en cual se aprecia el techado color azul, donde bien se pueden instalar los paneles fotovoltaicos.



Figura 4.2 Casa comunal Los Paracaidistas

Fuente: el autor

Dentro del proyecto de Vinculación con la comunidad, que efectúa la FETD se planteó un objetivo general, el cual indica: “Promover el uso adecuado de las instalaciones eléctricas, en las cooperativas Los Paracaidistas Horizontes del Guerrero y Colinas de la Florida, del cantón Guayaquil, con el objeto de reducir los peligros potenciales de la población y de los bienes muebles e inmuebles en esas comunidades”. De forma relacionada los docentes y estudiantes de la carrera ingeniería Eléctrico-Mecánica dictaron capacitación sobre Instalaciones Eléctricas Residenciales junto con un taller sobre la instalación eléctrica residencial usando paneles fotovoltaicos.

En la figura 4.3 se muestra un croquis del área de la casa comunal, la cual tiene un área de 50 metros cuadrados, dentro tiene una oficina la cual tiene dos computadores, tiene un baño, y un salón para albergar hasta 120 personas.

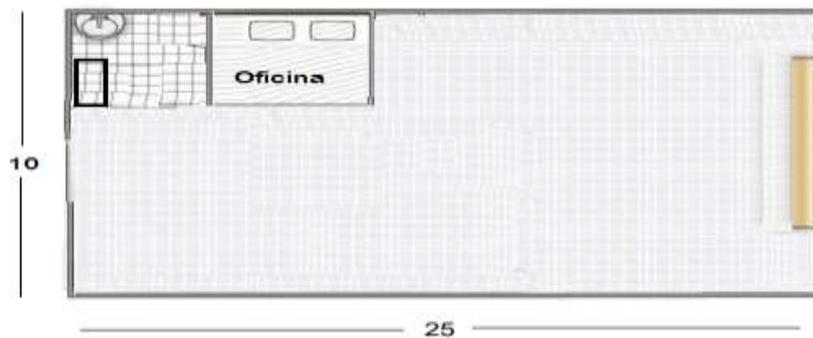


Figura 4.3 Croquis del área de la casa comunal Los Paracaidistas

Fuente: el autor

## 4.2 Levantamiento de carga en casa comunal

El objetivo de levantar o cuantificar la carga eléctrica establecida en la casa comunal, servirá para dimensionar el sistema solar fotovoltaico, el criterio importante es la iluminación para asegurar el uso del área total de la casa comunal, así el consumo de 51 tubos fluorescentes de 32 Watts da como resultado 1632 Watts predestinadas a aprovecharse entre las 8 am y las 2 pm., diariamente.

Tabla 4. 1 Datos de Carga eléctrica

V=220V		Coeficiente=1			
Puntos	W	Cant	Subtotal	Coeficiente	Total
Punto de luz 120V Normal	32	51	1632	0,7	1142,4
Punto Tomacorriente 120VNormal	120	5	600	0,5	300
Cocina de induccion	3500	1	3500	0,8	2800
bomba de agua	300	1	300	0,7	210
Computadora	350	2	700	0,8	560
TOTAL	4302	60	6732	0,70	5012,4

Proteccion de Breaker	Coeficiente de coincidencia	0,75	FP
	Potencia efectiva	3759,3	
	$P=V*I*Fp$		
	$I=P/V*Fp$	17,09	A
	$I*1,25$	21,36	Amp
Medidor	Clase 100 Amp		
Breaker Principal	60 Amp		

Fuente: el autor

La energía consumida por las lámparas.  $E_{lamp}$ , se determina por su potencia y operación durante las 6 horas diarias de actividad escolar

$$E_{lamp} = P_{lamp} * t \quad (1)$$

$$E_{lamp} = 1632 \text{ W} * 6 \text{ h}$$

$$E_{lamp} = 9792 \text{ Wh/días}$$

Se debe indicar que la casa comunal al brindar sus instalaciones puede operar con únicamente iluminación y el consumo mensual: 9049 Watts (equivalente a solo 10 días de un mes)

Ahora bien, se puede tomar en cuenta la carga de la tabla 4.1 y se establecerá un dimensionamiento básico de paneles fotovoltaicos, inversor, regulador de carga y baterías.

A continuación, el cálculo para dimensionar un sistema fotovoltaico básico.

#### 4.2.1 Cálculo del consumo máximo:

$$I_{ins\_max} = \frac{P_{max}}{V_{bateria}} \left[ \frac{Ah}{d} \right]$$

$$I_{ins\_max} = \frac{13.922 \text{ Wh/d}}{12 \text{ V}} \left[ \frac{Ah}{d} \right]$$

$$I_{ins\_max} = 1.160,2 \left[ \frac{Ah}{d} \right]$$

Se establece un margen de seguridad de 10%.

$$I_{max} = I_{ins\_max} + I_{ins\_max} * 10\% = 1,1 * I_{ins\_max} [Ah/d]$$

$$I_{max} = 1.1 * 1.160,2 [Ah/d]$$

$$I_{max} = 1.276.2 [Ah/d]$$

$$K_T = [1 - (K_B + K_C + K_R + K_x)] * \left[ 1 - \frac{K_A * D_{aut}}{P_d} \right]$$

Siendo:

$K_T$ : pérdidas totales.

$K_A$ : pérdidas debido a la autodescarga (0,5%).

$K_B$ : pérdidas debidas al rendimiento de la batería (5-10%).

$K_C$ : pérdidas debido al rendimiento del convertidor (5-20%).

$K_R$ : pérdidas debidas al rendimiento del regulador (5-10%).

$K_x$ : otras pérdidas no contempladas (5-20%).

$D_{aut}$ : días de autonomía.

$P_d$ : profundidad de descarga de la batería.

$$K_T = [1 - (0,05 + 0 + 0,1 + 0,15)] \cdot \left[1 - \frac{0,005 \cdot 1}{0,6}\right]$$

$$K_T = 0,69$$

$$C_{max} = \frac{I_{max}}{K_T} \left[\frac{Ah}{d}\right]$$

$$C_{max} = \frac{1.160,2}{0,69} \left[\frac{Ah}{d}\right]$$

$$C_{max} = 1.849,5 \left[\frac{Ah}{d}\right]$$

### Cálculo del número de paneles:

$$E_{panel} = I_{panel} \cdot HSP \cdot \eta_{panel} \left[\frac{Ah}{d}\right]$$

#### Siendo:

$E_{panel}$ : energía generada por un panel solar

$I_{panel}$ : corriente máxima del panel (dato de catálogo)

HSP: horas de suficiente radiación (se obtiene por estimaciones en estaciones meteorológicas)

$\eta_{panel}$ : rendimiento del panel (85-95%)

Para un panel solar de 100 Wp se tiene una corriente máxima por catálogo de 5,71A.

$$E_{panel} = 5,71 \cdot 4 \cdot 90\% \left[\frac{Ah}{d}\right]$$

$$E_{panel} = 20,56 \left[\frac{Ah}{d}\right]$$

Con estos valores de energía generada por los paneles, se puede calcular el número de paneles en paralelo que puedan abastecer el consumo proyectado del sistema.

$$\frac{C_{max}}{E_{panel}} = \frac{1.849,5}{20,56}$$

$$\frac{C_{max}}{E_{panel}} = 79,95 \rightarrow 8 \text{ panel de } 100W$$

### Cálculo de la capacidad de la batería:

$$\frac{C_{max} \cdot D_{aut}}{P_d} [Ah] = \frac{1849.5 \cdot 1}{0,6} [Ah]$$

$$\frac{C_{max} \cdot D_{aut}}{P_d} = 3.082.5 Ah$$

Para una autonomía de 10 horas con una batería de 40 Ah, se debe consumir una corriente nominal de 4 A.

$$\frac{C_{bateria}}{C_{nominalUCG45-12}} = \frac{3.082.5}{40}$$

$$\frac{C_{bateria}}{C_{nominalUCG45-12}} = 705,9 \rightarrow 4 \text{ baterias conectadas en paralelo}$$

Para que el Regulador - Inversor pueda manejar la potencia requerida por la carga sin forzar el equipo, la capacidad de este

$$P_{reg} > P_t$$

$$P_{reg} > 9050 W$$

Se considera un rango adicional mucho mayor, con el fin de que en caso que el usuario quisiera ampliar la carga el sistema (en una fase posterior a la implementación del modelo), este pueda responder a ese requerimiento extra. Por lo tanto se estima la potencia del Regulador inversor  $P_{reg}$  como

$$P_{reg} = 10000 W$$

Se considera un rango adicional mucho mayor, con el fin de que en caso que el usuario quisiera ampliar la carga el sistema (en una fase posterior a la implementación del modelo), este pueda responder a ese requerimiento extra.

En la Tabla 4.2 se muestran las características de los elementos requeridos para el sistema solar fotovoltaico de acuerdo a lo calculado.

Tabla 4. 2 Cálculo de paneles FV y baterías

TABLA I: CÁLCULO DE PANELES SOLARES		
Consumo diario	<b>10.544,0</b>	Watts-hora
Equivalente de Ah x Día	702,9	Ah
Latitud	<b>2,21</b>	grados
Potencia Requerida en Paneles	1.125,8	Watts
Tamaño del Panel	<b>100,0</b>	Watts
Cantidad de Paneles	7,0	Unidades
TABLA II: CÁLCULO DE BATERÍAS		
Días de Autonomía	<b>2</b>	días
Ah requeridos por Ciclo	705,9	Ah
Tamaño de Batería	<b>200,0</b>	Ah
Cantidad de Baterías	4,0	Unidades

Fuente: el autor

Cabe mencionar que, dado que es un sistema autónomo, los excesos de potencia son aprovechados únicamente para cargar completamente las baterías, limitadas por el controlador de carga; con lo cual permitiría, en dado caso que se requiera, un mayor número de horas de operación del sistema de reserva. En los momentos a pleno sol y que las baterías estén con carga completa y sin consumo, dicho exceso de potencia no tendría uso, siendo disipado en una resistencia prevista para el caso, o simplemente el regulador corta el suministro de potencia desde los paneles al detectar excesos.

Tabla 4. 3 Elementos del sistema solar diseñado

Cantidad	Equipo	Descripción
7	Módulos solares fotovoltaicos monocristalinos	100W – 12 V
4	Baterías de Plomo Ácido	40 Ah – 12 V
1	Regulador-Inversor	500 W
		24 V <sub>DC</sub> – 120 V <sub>AC</sub>

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 4.3 se muestra el detalle del sistema fotovoltaico para propuesta de implementación en la casa comunal. Al sistema eléctrico diseñado es un sistema básico para instalaciones fotovoltaicos domésticas. Por lo tanto luego se deben emplear las protecciones eléctricas tanto en las líneas de generación fotovoltaica, como en la de

carga, con el fin de proteger las baterías y el regulador contra sobrecorrientes y corrientes de cortocircuito, por medio de fusibles, diodos e interruptores de disparo.

Para elegir dichos elementos, la corriente máxima de operación necesita estar en un rango del 50 al 80% de la capacidad nominal del dispositivo de protección. En el caso de los paneles solares, previendo las corrientes inversas, se estiman diodos de 7 A debido a que la corriente de corto circuito para cada módulo  $I_{cc,ref}$  es de 5,2 A. Para todo el conjunto de la matriz fotovoltaica se establece un diodo de protección con una capacidad de 30 A, la cual es establecida en relación a la corriente pico  $I_p$  22,8 A.

Entre el Regulador - Inversor y la batería se estima un fusible de protección por sobrecorriente, con un valor de 35 A, en relación a que la corriente máxima durante la fase de carga del acumulador es 27,3 A (de acuerdo al valor calculado posteriormente en el modelado para cada celda de la batería  $I_{Nas}$ ).

Antes de la carga, en la caja de distribución se consideran interruptores magnetotérmicos o breakers de 25 A, debido a que la corriente máxima es de 21 A; adicionalmente este tipo de protección permite efectuar una interrupción manual del fluido eléctrico, adecuada para en caso de presentarse una sobrecarga.

En este diseño, se considera emplear tres líneas de cobre aisladas (línea Fase, Neutro y Tierra para los circuitos AC, y dos líneas positiva y negativa para la conexión del banco de baterías en DC) para tramos estimados entre 3 y 15 metros, y de esta forma asegurar que el estado del cable y de la puesta a tierra para los equipos sea adecuado, además, con calibres que limiten las pérdidas, preferiblemente por debajo del 3 % (caída de voltaje).

Con este fin se consideran: línea desde los paneles a la caja de conexión en cable No. 10 AWG, siendo recomendado llevarlo desde cada panel hasta la caja de distribución (evitando empates); cable No. 6 AWG para la conexión del regulador a las baterías, y No. 12 AWG para los circuitos en AC (splits, pcs, tomacorrientes).

#### **4.2.2 Dimensionamiento del sistema de puesta a tierra**

De acuerdo a la Norma eléctrica correspondiente y la guía de especificaciones de sistemas fotovoltaicos, la conexión a tierra para sistemas de bajo voltaje (30 V<sub>DC</sub> o menos) se considera necesaria y recomendable en aplicaciones solares fotovoltaicas.

Para un adecuado diseño de puesta a tierra, es necesario tener en cuenta la conductividad del terreno, debido a que es un factor importante en el comportamiento de los electrodos de tierra (Morales, 1999). Para este caso el suelo de la casa comunal

es catalogado como Humus, por lo tanto, en este proyecto se considera una resistividad adecuada del terreno menor a  $50 \Omega \text{ N}$ . Sin embargo, para asegurar baja resistividad y buen contacto con el terreno se recomienda construir un pequeño foso o zanja de no más de un metro de profundidad y 30cm de diámetro alrededor de la varilla, rellenándola con sustancia salina especial o tierra artificial de nombre favigel. Para sistemas solares fotovoltaicos el electrodo de tierra debe ser una varilla de metal, idealmente cobre, con un diámetro de mínimo 1,5 cm y una longitud que le permita entrar al menos 2,5 m por debajo de la superficie del piso, habiéndose tomado así para este diseño.

El plano del diseño de puesta a tierra para el sistema solar fotovoltaico estimado se presenta en la Figura 4.4.

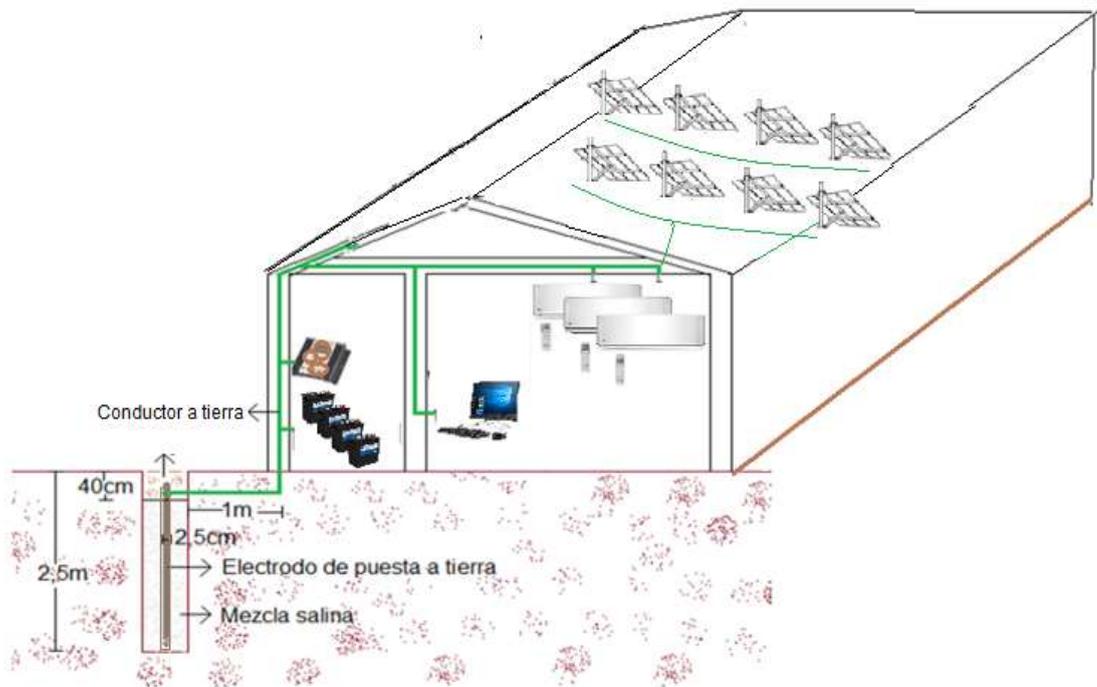


Figura 4. 4 Diseño de sistema fotovoltaico para casa comunal

Fuente: el autor

Para garantizar que el sistema de puesta a tierra no alcance voltajes elevados que puedan afectar la instalación en el momento en que la misma esté disipando energía, se debe mantener una separación entre el electrodo coperweld y la edificación, distancia que depende de la intensidad y la resistividad del terreno, en este caso como la intensidad del sistema es menor a 60 A, y la resistividad del suelo es inferior a  $60 \Omega \text{ m}$ , la separación requerida es de 1 m

## **Conclusiones**

Se concluye que los sistemas fotovoltaicos aislados, dependen del estudio energético, cargas a consumo de potencia.

Una instalación solar fotovoltaica sin inversor, utiliza una tensión de 12Vcc.

Una instalación solar fotovoltaica con inversor una vez almacenada la energía eléctrica en el acumulador o batería hay dos opciones: sacar una línea directamente de éste para la instalación y utilizar lámparas y elementos de consumo de 12 ó 24 Vcc o bien transformar la corriente continua en alterna de 220 V a través de un inversor.

Un regulador de carga tiene la función de proteger a la batería en caso de sobrecarga o descargas profundas, lo que afecta al sistema de almacenamiento minimizando su vida útil. Además, el regulador monitorea constantemente la tensión del banco de baterías cuando la batería se encuentra cargada interrumpe el proceso de carga abriendo el circuito entre los paneles y las baterías, cuando el sistema comienza a ser utilizado y las baterías a descargarse el regulador nuevamente conecta el sistema.

El consumo energético diario en promedio asciende aproximadamente 9.3 Kw, tomando en cuenta que el día sábado solo se labora medio día y si se planea conectar los paneles a la red para alimentar solo las lámparas, puede ser un sistema con 4 paneles y 2 baterías. Para el caso de cargas que están dentro de la casa comunal necesita 7 paneles solares y 4 baterías más un regulador de carga y un inversor de 10.000 watts.

La cantidad de insolación global o total que incide al día sobre los módulos solares, se expresa en kWh/m<sup>2</sup> /día ó su equivalente en horas de Sol máximo u horas de sol pico (HSP).

Se le denomina dimensionado o diseño de un sistema solar fotovoltaico a una serie de procesos de cálculo que logran optimizar el uso y la generación de la energía eléctrica de origen solar, realizando con un balance adecuado entre ellas, desde los puntos de vista técnico y económico.

Este proyecto es considerado un aporte de la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil por la vinculación con la comunidad a los moradores de la cooperativa Los Paracaidistas.

## **Recomendaciones**

Revisar borneras de los paneles fotovoltaicos, así también limpiar de polvo u obstrucciones (basura, desechos etc.) en dichos paneles.

Se debe ocupar un espacio para el banco de baterías, seco y libre de humedad, Cada 3 meses revisar conexiones,

Se debe dimensionar adecuadamente las protecciones eléctricas para el sistema fotovoltaico residencial.

Capacitar a personas en mantenimiento de instalaciones eléctricas fotovoltaicas.

No conecte al sistema fotovoltaico equipos de gran potencia que no hayan sido considerados en el diseño, sin consultar a los especialistas, ya que una sobrecarga por consumo excesivo puede provocar un mal funcionamiento.

No conecte equipos de potencia superior a la del inversor CC/CA, pues esta sobrecarga puede dañarlo, sobre todo cuando los inversores no son de calidad

No se deben hacer modificaciones en la instalación, dado que la instalación ha sido dimensionada específicamente para el uso que se estableció en un principio.

## **Bibliografía**

- Auto Solar. (2019). *Baterías*. Obtenido de Auto Solar: <https://autosolar.es/baterias-plomo-abierto-12v/bateria-trojan-27tmh-115ah-12v>
- Ayllu Solar. (2018). *Ayllu Solar*. Obtenido de Manual de Instalaciones Fotovoltaicas: [http://ayllusolar.cl/wp-content/uploads/2018/05/manual\\_instalaciones\\_fotovoltaicas.pdf](http://ayllusolar.cl/wp-content/uploads/2018/05/manual_instalaciones_fotovoltaicas.pdf)
- Energía Solar. (2015). *Energía Solar*. Obtenido de Panel Solar: <https://solar-energia.net/definiciones/controlador-de-carga.html>
- ISER . (2019). *Detalles técnicos de las instalaciones fotovoltaicas*. Obtenido de ISER – Autoconsumo Solar: <https://iser.es/autoconsumo/aspectos-tecnicos/>
- Alonso, J. (2015). *Cómo dimensionar y calcular paneles solares fotovoltaicos necesarios*. Obtenido de SunField: <https://www.sfe-solar.com/paneles-solares/calcular-paneles-solares-necesarios/>
- Alva, Z. (2008). *Cálculo y demanda*. Obtenido de <http://albazamora.blogspot.com/2010/04/carga-y-demanda-unidad-iii.html>
- Arvizu, D., Balaya, P., Cabeza, L., & Hollands, K. (2011). *“Direct Solar Energy”*. . Obtenido de [https://www.researchgate.net/publication/263353703\\_Direct\\_Solar\\_Energy](https://www.researchgate.net/publication/263353703_Direct_Solar_Energy)
- Casas, E. (2019). *Diferencias entre la Corriente Continua (DC) y la Corriente Alterna (AC)*. Obtenido de Electric Casas: <https://www.electricasas.com/diferencias-entre-corriente-continua-y-corriente-alterna/>
- CONELEC. (2015). *PRECIOS DE LA ENERGÍA PRODUCIDA CON RECURSOS ENERGÉTICOS RENOVABLES NO CONVENCIONALES*. Obtenido de

- Regulacion Electrica: <https://www.regulacionelectrica.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2015/12/CONELEC-PreciosRenovables4.pdf>
- Coparoman. (05 de Abril de 2014). *Servicio de red eléctrica, monofásica, bifásica y trifásica*. Obtenido de coparoman:  
<https://coparoman.blogspot.com/2014/04/servicio-de-red-electrica-monofasica.html>
- Corporation, F. (2019). *¿Qué es la ley de Ohm?* Obtenido de Fluke Corporation:  
<https://www.fluke.com/es-sv/informacion/mejores-practicas/aspectos-basicos-de-las-mediciones/electricidad/que-es-la-ley-de-ohm>
- ECyT-ar. (24 de noviembre de 2017). *Irradiación solar*. Obtenido de ECyT-ar :  
[https://cyt-ar.com.ar/cyt-ar/index.php/Irradiaci%C3%B3n\\_solar](https://cyt-ar.com.ar/cyt-ar/index.php/Irradiaci%C3%B3n_solar)
- Enercity. (2019). Productos y Especificaciones.
- Energias Comunes. (2012). *Energia Mareomotriz*. Obtenido de Energias como Bienes Comunes: <http://www.energias.bienescomunes.org/2012/10/03/que-es-la-energia-mareomotriz/>
- ITM. (2016). *ELEMENTOS DE PROTECCIÓN PERSONAL POR OFICIO EN PROFESIONALES DE LABORATORIO*. Obtenido de ITM:  
[https://www.itm.edu.co/wp-content/uploads/Practicas\\_Laboratorio/MGL-003-Elementos-de-protecci%C3%B3n-personal-por-oficio-en-profesionales-de-....pdf](https://www.itm.edu.co/wp-content/uploads/Practicas_Laboratorio/MGL-003-Elementos-de-protecci%C3%B3n-personal-por-oficio-en-profesionales-de-....pdf)
- Jurado, S. (2016). *Radiaciones solares (esquema)*. Obtenido de El blog de sofia:  
<https://sofiasecreta.wordpress.com/2011/06/27/radiaciones-solares-esquema/>
- Morocho, I., & Ríos, K. (2015). *Estudio técnico para incorporar generación distribuida fotovoltaica en el sector residencial del cantón Cuenca*. Obtenido

de Universidad Politécnica Salesiana: file:///C:/Users/Hp/Downloads/UPS-CT004433%20(1).pdf

National Geographic. (2018). *Energía eólica*. Obtenido de National Geographic:

<https://www.nationalgeographic.com.es/temas/energia-eolica/fotos/1/3>

Neuquen. (17 de Agosto de 2016). *Sin paneles, se vienen los techos solares*.

Obtenido de LMNeuquen: <https://www.lmneuquen.com/sin-paneles-se-vienen-los-techos-solares-n523302>

Planeta Verde. (2016). *Biomasa*. Obtenido de Planeta Verde:

<https://www.planetaverde.net/biomasa/>

Quora. (2018). *Energía Eólica*. Obtenido de Quora:

<https://es.quora.com/Qu%C3%A9-es-energ%C3%ADa-e%C3%B3lica>

Renovables Verdes. (2015). *Qué es y cómo funciona una central geotérmica*.

Obtenido de Renovables Verdes:

<https://www.renovablesverdes.com/centrales-geotermicas/>

Solar, A. (2018). *Manual sobre instalaciones de plantas fotovoltaicas*. Obtenido de

Ayllu Solar: [http://ayllusolar.cl/wp-](http://ayllusolar.cl/wp-content/uploads/2018/05/manual_instalaciones_fotovoltaicas.pdf)

[content/uploads/2018/05/manual\\_instalaciones\\_fotovoltaicas.pdf](http://ayllusolar.cl/wp-content/uploads/2018/05/manual_instalaciones_fotovoltaicas.pdf)

Solar, J. (2018). 375W PERC Module Panel Solar. JA Solar.

Tecnología Area. (2016). *consumo eléctrico*. Obtenido de Tecnología:

<http://www.areatecnologia.com/electricidad/consumo-electrodomesticos.html>

Tecnosol. (2016). *TIPOS DE INSTALACIONES FOTOVOLTAICAS AISLADAS*.

Obtenido de <https://t.com/noticias/tipos-de-instalaciones-fotovoltaicas-aisladas/>

Villada, J. L. (Julio de 2016). *Análisis de las oportunidades de I+D+i en Eficiencia*

*Energética y Energías Renovables en Ecuador. Un enfoque desde el sector*

*académico*. Obtenido de ResearchGate:

[https://www.researchgate.net/figure/FIGURA-27-Mapa-de-irradiacion-solar-global-en-America-Latina-y-el-Caribe-SolarGIS\\_fig3\\_305426798](https://www.researchgate.net/figure/FIGURA-27-Mapa-de-irradiacion-solar-global-en-America-Latina-y-el-Caribe-SolarGIS_fig3_305426798)

## DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, Lindao Suarez, Wilmer Eduardo con C.C: # 09-20611290 autor del trabajo de titulación: **“Propuesta de Diseño de un Sistema de Energía Solar Fotovoltaica. Caso de Aplicación en Casa Comunal de Cooperativa Los Paracaidistas en la Ciudad de Guayaquil”**, previo a la obtención del título de **INGENIERO ELÉCTRICO MECÁNICO** en la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.

1.- Declaro tener pleno conocimiento de la obligación que tienen las instituciones de educación superior, de conformidad con el Artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior, de entregar a la SENESCYT en formato digital una copia del referido trabajo de titulación para que sea integrado al Sistema Nacional de Información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor.

2.- Autorizo a la SENESCYT a tener una copia del referido trabajo de titulación, con el propósito de generar un repositorio que democratice la información, respetando las políticas de propiedad intelectual vigentes.

Guayaquil, 7 febrero del 2020

f. \_\_\_\_\_  
Lindao Suarez, Wilmer Eduardo  
C.C: 09-20611290

## **REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA**

### **FICHA DE REGISTRO DE TESIS/TRABAJO DE TITULACIÓN**

<b>TÍTULO Y SUBTÍTULO:</b>	Propuesta de Diseño de un Sistema de Energía Solar Fotovoltaica. Caso de Aplicación en Casa Comunal de Cooperativa Los Paracaidistas en la Ciudad de Guayaquil.		
<b>Autor</b>	Lindao Suarez, Wilmer Eduardo		
<b>REVISOR(ES)/TUTOR(ES)</b> (apellidos/nombres):	Ing. Orlando Philco Asqui M.Sc.		
<b>INSTITUCIÓN:</b>	Universidad Católica de Santiago de Guayaquil		
<b>FACULTAD:</b>	Facultad de Educación Técnica para el Desarrollo		
<b>CARRERA:</b>	Ingeniería Eléctrico Mecánica		
<b>TITULO OBTENIDO:</b>	Ingeniero en Eléctrico Mecánica		
<b>FECHA DE PUBLICACIÓN:</b>	Marzo de 2020	<b>No. DE PÁGINAS:</b>	85
<b>ÁREAS TEMÁTICAS:</b>	Energía renovable, Eficiencia energética		
<b>PALABRAS CLAVES/ KEYWORDS:</b>	Panel Fotovoltaico, Regulador De Carga, Casa Comunal, Inversor, Dimensionamiento.		
<b>RESUMEN/ABSTRACT:</b>	<p>La energía solar fotovoltaica transforma de manera directa la luz solar en electricidad empleando una tecnología basada en el efecto fotovoltaico. Al incidir la radiación del sol sobre una de las caras de una célula fotoeléctrica (que conforman los paneles) se produce una diferencia de potencial eléctrico entre ambas caras que hace que los electrones salten de un lugar a otro, generando así corriente eléctrica.</p> <p>Existen tres tipos de paneles solares fotovoltaicos hoy en días y determinar el adecuado panel como la del equipamiento para el diseño de un sistema fotovoltaico, es un conocimiento para dar soluciones a proyectos sustentables. Tal es el caso de la casa comunal en la cooperativa Los Paracaidistas ubicada en el sector noroeste de la ciudad de Guayaquil, que puede reducir el costo de facturas por consumo eléctrico. el dimensionamiento de equipos para dicho sistema permitirá que a futuro se implemente y se logre reducción de costos por consumo con valor agregado de la reducción de huella de carbón. Los resultados de un sistema fotovoltaico para a casa comunal Los Paracaidistas, conlleva a emplear 7 paneles solares monocristalinos, 4 baterías conectados en paralelo y un inversor de 10000 Vatios.</p>		
<b>ADJUNTO PDF:</b>	<input checked="" type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO	
<b>CONTACTO CON AUTOR/ES:</b>	<b>Teléfono:</b> +593-4-3094582 / 0996643514	E-mail: wlindao2008@gmail.com	
<b>CONTACTO CON LA INSTITUCIÓN: COORDINADOR DEL PROCESO DE UTE</b>	<b>Nombre:</b> Philco Asqui, Luis Orlando		
	<b>Teléfono:</b> (04) 2 206957 ext.5555		
	<b>E-mail:</b> <a href="mailto:luis.philco@cu.ucsg.edu.ec">luis.philco@cu.ucsg.edu.ec</a> / <a href="mailto:ute@cu.ucsg.edu.ec">ute@cu.ucsg.edu.ec</a>		
<b>SECCIÓN PARA USO DE BIBLIOTECA</b>			
<b>Nº. DE REGISTRO (en base a datos):</b>			
<b>Nº. DE CLASIFICACIÓN:</b>			
<b>DIRECCIÓN URL (tesis en la web):</b>			