

UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTIAGO DE GUAYAQUIL

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO

CARRERA: INGENIERÍA ELÉCTRICO – MECÁNICA

**TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO
DE INGENIERO ELÉCTRICO-MECÁNICO CON MENCIÓN EN GESTIÓN
INDUSTRIAL**

TÍTULO

**DISEÑO DE UNA INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA OPTIMIZANDO EL
ÁNGULO DE INCLINACIÓN DE LOS PANELES SOLARES.**

AUTOR:

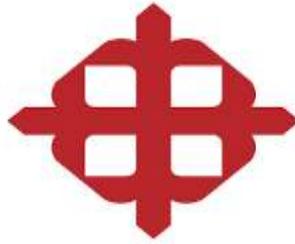
MONAR HERRERA ISRAEL ANDRÉS

TUTOR

ING. MONTENEGRO TEJADA RAÚL, MGS

GUAYAQUIL – ECUADOR

2015



UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL
FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA: INGENIERÍA ELÉCTRICO – MECÁNICA

CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente trabajo fue realizado en su totalidad por el Sr. **Israel Andrés Monar Herrera**, como requerimiento parcial para la obtención del Título de Ingeniero Eléctrico–Mecánico.

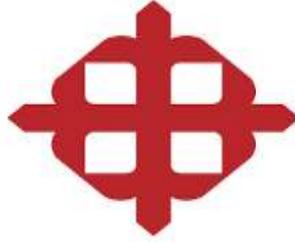
TUTOR

Ing. Montenegro Tejada Raúl, Mgs

DIRECTOR DE CARRERA

Ing. Heras Sánchez Miguel Armando

Guayaquil, marzo del año 2015



UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL
FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA: INGENIERÍA ELÉCTRICO – MECÁNICA

AUTORIZACIÓN

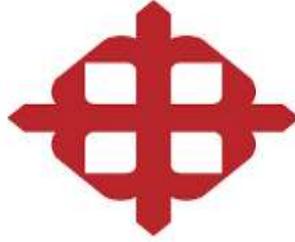
Yo, Israel Andrés Monar Herrera

Autorizo a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, la publicación en la biblioteca de la institución del Proyecto de Titulación: **DISEÑO DE UNA INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA OPTIMIZANDO EL ÁNGULO DE INCLINACIÓN DE LOS PANELES SOLARES**, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y total autoría.

Guayaquil, marzo del año 2015

AUTOR

Israel Andrés Monar Herrera



UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL
FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA: INGENIERÍA ELÉCTRICO – MECÁNICA

DECLARACIÓN EXPRESA

Yo, Israel Andrés Monar Herrera

DECLARO QUE:

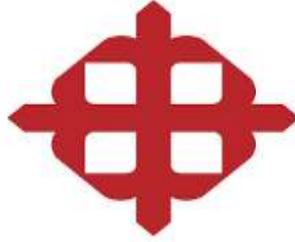
El trabajo de Titulación **DISEÑO DE UNA INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA OPTIMIZANDO EL ÁNGULO DE INCLINACIÓN DE LOS PANELES SOLARES**, previa a la obtención del Título de Ingeniero en Eléctrico-Mecánico con Mención en Gestión Empresarial Industrial, ha sido desarrollado respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan al pie de las páginas correspondientes, cuyas fuentes se incorporan en la bibliografía. Consecuentemente este trabajo es de mi total autoría.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance científico del Trabajo de Titulación referido.

Guayaquil, marzo del año 2015

AUTOR

Israel Andrés Monar Herrera



UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL
FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA: INGENIERÍA ELÉCTRICO – MECÁNICA

CARRERA:

Ingeniería en Eléctrico-Mecánico con Mención en Gestión Empresarial Industrial

CALIFICACIÓN

AGRADECIMIENTO

Agradezco primeramente a Dios quien es el autor de este sueño tan anhelado en mi vida por darme valor, fuerza, sabiduría y constancia. A Él sea la gloria.

A mi madre CAROLINA MONAR por ser madre y padre a la vez, por darme el apoyo incondicional, ejemplo de optimismo y por haberme incentivado y acompañado siempre a seguir adelante, a mis abuelos JULIO MONAR Y ALICIA HERRERA que juntos me apoyaron en todo momento y sirvieron de impulso para lograr esta meta.

ÍNDICE

CAPÍTULO 1	1
INTRODUCCIÓN	1
1.1 Justificación.....	1
1.2 Planteamiento del problema.....	1
1.3 Objetivos	2
1.3.1 Objetivo general	2
1.3.2 Objetivos específicos	2
1.4 Tipo de investigación	2
1.5 Hipótesis.....	3
1.6 Metodología	3
PARTE I MARCO TEÓRICO.....	5
CAPÍTULO 2	5
FORMAS DE ENERGÍAS	5
2.1 Introducción	5
2.2 Tipos de energía renovable	5
2.2.1 Energía biomasa.....	5
2.2.2 Energía eólica.....	6
2.2.3 Energía solar fotovoltaica	7
2.2.4 Energía hidráulica	8
2.2.5 Energía Mareomotriz	9

2.2.6 Energía geotérmica.....	10
CAPÍTULO 3	12
INCLINACIÓN Y ORIENTACIÓN DE LOS PANELES FOTOVOLTAICOS.....	12
3.1 Orientación del generador fotovoltaico.....	12
3.2 Radiación solar.....	16
3.3 Radiación solar sobre una superficie.....	18
3.3.1 Radiación directa.....	20
3.3.2 Radiación difusa.....	20
3.3.3 Radiación reflejada o de albedo	20
3.4 Radiación sobre una superficie inclinada.....	21
3.5 Factor de irradiación	22
3.6 Desplazamiento de sombras entre filas de los módulos fotovoltaicos.....	22
3.7 Ángulo óptimo de inclinación de los módulos solares	25
CAPÍTULO 4	27
CONCEPTO DE ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA.....	27
4.1 Definición.....	27
4.2 Componentes de un panel fotovoltaico	28
4.2.1 Encapsulante	29
4.2.2 Cubierta exterior de vidrio templado	29
4.2.3 Cubierta posterior.....	29

4.2.4 Caja de metal.....	30
4.2.5 Caja terminales.....	30
4.2.6 Diodo de protección	31
4.3 Tecnología de paneles fotovoltaicos	31
4.3.1 Silicio puro monocristalino	32
4.3.2 Silicio puro policristalino	32
4.3.3 Silicio amorfo (TFS)	33
4.3.4 Teluro de cadmio.....	34
4.3.5 Arseniuro de galio	35
4.3.6 Diseleniuro de cobre en indio	35
4.4 Tipos de paneles de acuerdo a su construcción.....	36
4.4.1 Paneles con sistemas de concentración	36
4.4.2 Paneles de formato “teja o de baldosa”	36
4.4.3 Paneles bifaciales	37
4.5 Elementos asociados a los paneles fotovoltaicos	37
4.5.1 Regulador	38
4.5.2 Batería	41
4.5.4 Calibre de conductores	46
4.5.5 Inversores	47
CAPÍTULO 5	52

MANTENIMIENTO DE INSTALACIONES FOTOVOLTAICAS.....	52
5.1 Elementos donde se realiza el mantenimiento	52
5.1.1 Módulos fotovoltaicos.....	52
5.1.2 Instalaciones eléctricas en corriente continua	53
5.1.3 Instalaciones eléctricas en corriente alterna	53
5.1.4 Inversores	53
5.1.5 Sistema de ventilación y/o climatización.....	53
5.1.6 Estructura para montaje de panel fotovoltaico.....	54
5.2 Equipos de prueba aplicada al mantenimiento.....	54
5.2.1 Termografía.....	54
5.2.2 Trazador de curva I/V	56
5.3 Equipos de protección de un panel fotovoltaico	57
5.3.1 Instalación de cableado	57
5.3.2 Protecciones contra sobretensiones, cortocircuitos y sobrecargas	57
5.3.3 Conexión a tierra	57
5.4 Impacto ambiental de la energía solar fotovoltaica.....	58
5.4.1 Clima.....	58
5.4.2 Geología.....	58
5.4.3 Suelo.....	58
5.4.4 Aguas superficiales y subterráneas	59

5.4.5 Flora o fauna	59
5.4.6 Paisaje	59
5.4.7 Ruidos	59
5.4.8 Medio social	60
PARTE II APORTACIONES	61
CAPÍTULO 6	61
ELECTRIFICACIÓN DE LOS PANELES FOTOVOLTAICO AUTÓNOMOS	61
6.1 Introducción	61
6.2 Estimación de la demanda de una vivienda	62
6.3 Irradiación solar media en superficie inclinada	65
6.4 Cálculo del regulador	67
6.5 Cálculo del inversor	68
CAPÍTULO 7	69
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	69
7.1 Conclusiones	69
7.2 Recomendaciones	70
BIBLIOGRAFÍA	71
ANEXOS	75

ÍNDICE DE FIGURAS

CAPÍTULO 2

Figura 2. 1 <i>Residuos que se transforman en energía de biomasa.</i>	6
Figura 2. 2 <i>Parque Eólico.</i>	7
Figura 2. 3 <i>Paneles fotovoltaicos aislados.</i>	8
Figura 2. 4 <i>Diseño de una central hidroeléctrica.</i>	9
Figura 2. 5 <i>Diseño de una torre mareomotriz.</i>	10
Figura 2. 6 <i>Estructura interna del planeta tierra.</i>	11

CAPÍTULO 3

Figura 3. 1 <i>Paralelos y Meridianos de la corteza terrestre.</i>	12
Figura 3. 2 <i>Ángulo de acimut (α) de un módulo fotovoltaico.</i>	13
Figura 3. 3 <i>Ángulo de inclinación (β) de un módulo fotovoltaico.</i>	14
Figura 3. 4 <i>Desplazamiento solar durante el día.</i>	15
Figura 3. 5 <i>Radiación Solar.</i>	17
Figura 3. 6 <i>Componentes de la radiación solar terrestre.</i>	21
Figura 3. 7 <i>Desplazamiento entre filas de los módulos fotovoltaicos.</i>	23
Figura 3. 8 <i>Modelo de un panel para encontrar la distancia y ángulo</i>	24

CAPÍTULO 4

Figura 4. 1 <i>Estructura del Panel Fotovoltaico.</i>	27
Figura 4. 2 <i>Esquema de un Panel.</i>	28
Figura 4. 3 <i>Cubierta exterior de vidrio templado.</i>	29
Figura 4. 4 <i>Cubierta posterior.</i>	30
Figura 4. 5 <i>Caja de metal</i>	30
Figura 4. 6 <i>Caja de terminales.</i>	31

Figura 4. 7 <i>Diodo de protección.</i>	31
Figura 4. 8 <i>Panel solar monocristalino.</i>	32
Figura 4. 9 <i>Diseño de panel silicio puro policristalino.</i>	33
Figura 4. 10 <i>Diseño de panel silicio amorfo (TFS).</i>	34
Figura 4. 11 <i>Diseño de panel telurio de cadmio.</i>	35
Figura 4. 12 <i>Diseño de panel diseleniuro de cobre en indio.</i>	36
Figura 4. 13 <i>Diseño de paneles bifaciales.</i>	37
Figura 4. 14 <i>Regulador de MPPT.</i>	39
Figura 4. 15 <i>Regulador PWM.</i>	40
Figura 4. 16 <i>Batería de plomo-acido.</i>	42
Figura 4. 17 <i>Batería de gel con electrolito fijado.</i>	43
Figura 4. 18 <i>Batería AGM con la carcasa totalmente cerrada.</i>	44
Figura 4. 19 <i>Conexión paralelo con dos baterías.</i>	45
Figura 4. 20 <i>Conexión serie con dos baterías.</i>	46
Figura 4. 21 <i>Conexión serie-paralelo con cuatro baterías.</i>	46
Figura 4. 22 <i>Diseño de generación de DC a CC con inversor sincrónico de un panel solar.</i>	49

CAPÍTULO 5

Figura 5. 1 <i>Limpieza de paneles.</i>	52
Figura 5. 2 <i>Termografía de un panel fotovoltaico.</i>	55
Figura 5. 3 <i>Caída de un circuito, en puntos en colores más frío.</i>	55
Figura 5. 4 <i>Grafica de cada módulo que configura string.</i>	56
Figura 5. 5 <i>Grafica resultante del string.</i>	56

CAPÍTULO 6

Figura 6. 1 *Sistema fotovoltaico o autónomo*..... 61

Figura 6. 2 *Consumo horas pico solar*..... 66

ÍNDICE DE TABLAS

CAPÍTULO 3

Tabla 3. 1 <i>Meses en temporada de verano</i>	16
Tabla 3. 2 <i>Radiación Interceptada por una superficie inclinada</i>	19
Tabla 3. 3 <i>Valores de h ($h = a \text{ sen } \alpha$)</i>	24
Tabla 3. 4 <i>Red de estaciones meteorológicas</i>	26

CAPÍTULO 4

Tabla 4. 1 <i>Cables para batería SGT 600V 75°C</i>	47
---	----

CAPÍTULO 6

Tabla 6. 1 <i>Consumo estimado de una vivienda Rural</i>	62
Tabla 6. 2 <i>Irradiación solar diaria media, H (KWh/m²x día)</i>	65
Tabla 6. 3 <i>Horas de pico solar, HPS(h)</i>	66

RESUMEN

El presente proyecto planteado es el diseño de una instalación solar fotovoltaica optimizando el ángulo de inclinación de los paneles solares para generar y enviar al sistema de distribución eléctrica que beneficiará al sistema de interconexión nacional (SIN) con una energía 100% limpia sin deterioro del medio ambiente. El presente trabajo fue realizado en base a estudios de la teoría existente del sistema lo que logra que sea confiable, seguro y continuo.

Además se analiza el funcionamiento del sistema fotovoltaico indicando a la vez sus componentes que lo constituyen y recomendaciones que deben tomarse cuando este en operación.

En segunda parte se considera el nivel de radiación solar captado en los paneles y se busca el óptimo ángulo de inclinación lo que ayudará como objetivo aprovechar la transformación de energía del sol a energía eléctrica. Y las cargas que se alimentan deben cumplir las características técnicas y garantizar el buen funcionamiento del sistema y esto hará que se evite inconvenientes de caída de tensión.

ABSTRACT

This proposed project is the design of a solar photovoltaic installation optimizing the angle of inclination of the solar panels to generate and send electrical distribution system that will benefit the national interconnection system (INS) with a 100% clean energy without deterioration of the environment. This work was done based on studies of existing theory system which achieves that is reliable, secure and continuous.

Besides the operation of the photovoltaic system while indicating its constituent components and recommendations to be taken when in operation is analyzed.

In second part considers the level of solar radiation captured in the panels and the optimal angle which will help target leverage the processing power of the sun into electrical energy is sought. And loads that feed must meet the specifications and ensure the proper functioning of the system and this will cause inconvenience to avoid voltage drop.

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

1.1 Justificación

En la actualidad el consumo de energía eléctrica en el país se ha incrementado por el desarrollo económico industrial, comercial y residencial lo que ha originado y ha impulsado la búsqueda de otras fuentes de energía renovables totalmente limpias como: energía hidráulica, energía eólica, energía solar, energía fotovoltaica y etc.; para cubrir el agotamiento de los derivados del petróleo, que fomentan a incrementar la contaminación ambiental del planeta.

Actualmente la generación eléctrica a base de derivados del petróleo produce fuertes egresos económicos al país, y un fuerte impacto ambiental. Estos problemas serán atenuados haciendo uso de la energía limpia o renovable como es la generación fotovoltaica, que utiliza como fuente principal y gratuita, la energía solar, ayudando así a mejorar el medio ambiente, en beneficio de los seres humanos y la naturaleza.

1.2 Planteamiento del problema

Con la ayuda de los paneles fotovoltaicos tenemos la opción de generar y distribuir energía eléctrica a los usuarios y equipos para que tengan un óptimo funcionamiento de trabajo, pero para poder lograr un aprovechamiento del panel fotovoltaico con eficiencia al 100%; se debe obtener un ángulo de inclinación ideal, donde la captación de radiación directa del sol sea dependiendo del área establecida instalada del panel fotovoltaico y la referencia climatológica.

Esto se logra en base a los avances tecnológicos de las energías renovables o verdes, que nos ayuda a reducir la contaminación y a su vez aprovechar la energía del sol que es una fuente inagotable, la cual se debe aprovechar al máximo para la generación de energía eléctrica.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

Diseñar una instalación solar fotovoltaica optimizando el ángulo de inclinación de los paneles para una utilización más eficiente de los rayos emitidos por el sol lo que generará energía eléctrica para el suministro de las cargas instaladas.

1.3.2 Objetivos específicos

- ✓ Analizar los diferentes ángulos de inclinación de los paneles fotovoltaicos que ayudará a obtener mayor eficiencia para alimentar de las cargas instaladas.
- ✓ Seleccionar el ángulo de inclinación óptimo.
- ✓ Determinar elementos de protección de paneles fotovoltaicos.

1.4 Tipo de investigación

Es una investigación descriptiva donde se demostrará las situaciones y eventos en la instalación de paneles fotovoltaicos que es la fuente de energía limpia proveniente del sol. Para la cual se realizaría un estudio de la radiación directa o difusa que emite el sol.

1.5 Hipótesis

En los paneles fotovoltaicos su principal fuente de alimentación es procedente del sol, que al captar la radiación luminosa, llevando hacia las celdas del panel, producen una transformación de energía solar a energía eléctrica.

Los paneles al ser direccionados reciben mayor o menor cantidad de radiación solar a lo largo de todo el año, teniendo además la posibilidad de variar el ángulo de inclinación para optimizar la energía solar.

1.6 Metodología

Este trabajo se realizará mediante normativas reglamentarias de diseño que se deben cumplir en una instalación fotovoltaica, para esto es necesario realizar consultas con investigaciones que dan seguridad absoluta tanto al equipo como a las personas, además saber las características y funcionamiento de los equipos que conforman la instalación adecuada y eficiente. Los paneles fotovoltaicos están constituidos por: paneles, reguladores de carga, inversores, baterías y demás equipos que conforman el sistema.

En el proceso de optimizar el ángulo de inclinación de los paneles solares es tener un promedio de nivel de radiación lo cual va orientado con las posiciones de latitudes para conocer sus factores de zona del territorio para ser objeto de instalar un panel fotovoltaico.

Para establecer la capacidad de un panel solar fotovoltaico es necesario calcular un promedio de la potencia que consume cada equipo por hora de trabajo.

Finalmente, el sistema de diseño dará satisfacción y beneficios a las personas que tendrá un cambio energético confiable, seguro con una continuidad de energía sin perturbaciones.

PARTE I MARCO TEÓRICO

CAPÍTULO 2 FORMAS DE ENERGÍAS

2.1 Introducción

Son aquellas fuentes de energía que provienen de los recursos naturales limpios para reducir la contaminación producida por los gases de la combustión de derivados del petróleo que producen graves efectos invernadero que son perjudiciales para el medio ambiente.

Existen varios tipos de energía renovable: energía solar fotovoltaica, solar térmica, solar termoeléctrica, energía eólica, biomasa, energía hidráulica, energía mareomotriz y energía geotérmica.

2.2 Tipos de energía renovable

La energía puede obtenerse de las diferentes formas como:

2.2.1 Energía biomasa

Es una energía procedente de los compuestos orgánicos formada en algún proceso biológico, sacada de los residuos que genera, los seres vivos, vegetación y animales para la producción de fuente energética. La biomasa puede ser utilizada directamente como combustible, denominado “biocombustible”.

El uso de biomasa como combustible presenta la ventaja de que los gases producidos en la combustión tienen mucho menor proporción de compuesto de azufre, causante de la lluvia ácida, que los procedentes de la combustión del carbono.

Al ser quemados añaden CO_2 al ambiente, pero este efecto se puede contrarrestar con la siembra de nuevos bosques o plantas que retiran este gas de la atmósfera.



Figura 2. 1 Residuos que se transforman en energía de biomasa.
Fuente: Biomasa (2012).

2.2.2 Energía eólica

Es la que proviene de una masa de aire con diferentes temperaturas y, por tanto, diferentes densidades y presiones. Por lo que las aspas son impulsadas por el viento y hacen girar el rotor consiguiendo transformar la energía cinética del viento y transformarla en energía mecánica, la electricidad producida por los aerogeneradores se almacena y destinada para la distribución eléctrica.

Las grandes turbinas o aerogeneradores (especies de molinos de viento), se colocan en áreas abiertas donde se puede obtener una buena cantidad de viento. Y a través del movimiento capturado por un generador, se puede generar electricidad. En la actualidad, sólo el 1% de la energía generada en el mundo proviene de este tipo de

fuente de energía eólica. Sin embargo, el potencial de explotación es grande. En la actualidad, la capacidad mundial de energía eólica de 238,4 GW (gigavatios).

Los países que generan más energía eólica son: China (62.700 megavatios), Estados Unidos (46.900 MW), Alemania (29.000 megavatios), España (21.600 MW), India (16.000 MW), Francia (6800 MW), Italia (6700 MW), Reino Unido (6500 MW), Canadá (5200 MW) y Portugal (4000 MW).



Figura 2. 2 *Parque Eólico.*

Fuente: Asociación de Empresas de Energía Renovables (2009).

2.2.3 Energía solar fotovoltaica

Se basa a una fuente de energía recibida directamente de las radiaciones electromagnéticas prolongadas del sol, que produce un cambio de transformación llamada energía eléctrica, lo cual se produce en unos dispositivos denominados módulos fotovoltaicos de manera que estimula los electrones del semiconductor generando una diferencia de potencial.

La conversión fotovoltaica se basa en el efecto fotoeléctrico, es decir, en la conversión de la energía lumínica proveniente del sol es equivalente a 3.8MW, lo que es emitida por su superficie a la temperatura de 13 millones de grados (producida por las fusiones de átomos de hidrogeno para formar helio).



Figura 2. 3 *Paneles fotovoltaicos aislados.*

Fuente: Asociación de Empresas de Energía Renovables (2009).

2.2.4 Energía hidráulica

También conocida como energía hídrica aprovechada de las vertientes hidrográficas, debido que es una fuente de energía renovable, el agua que es el principal recurso para generar energía eléctrica. La energía potencial durante su caída se convierte en cinética lo que es transportada a gran velocidad y pasa por las turbinas, produciendo un movimiento de rotación conectado un eje entre la turbina y el generador, que finalmente se transforma en energía eléctrica.

Los componentes en una central hidráulica son:

- Agua Embalsada
- Presa
- Rejillas filtradoras
- Tubería forzada
- Conjunto turbina-alternador
- Turbina

- Eje
- Generador
- Líneas de transporte de energía eléctrica
- Transformadores

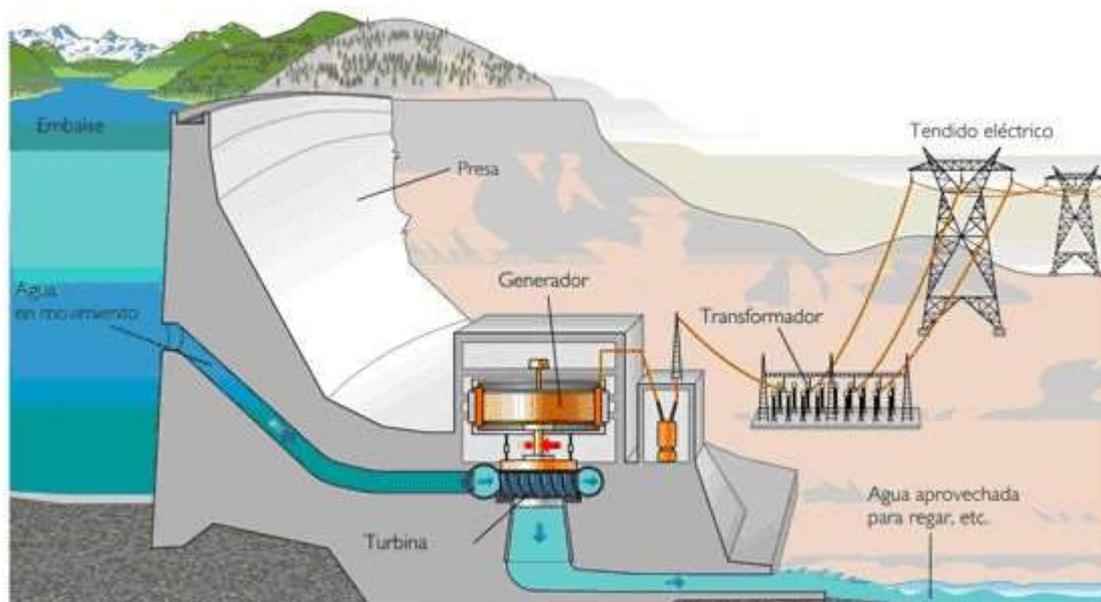


Figura 2. 4 *Diseño de una central hidroeléctrica.*
Fuente: Centrales Hidroeléctricas (2005)

2.2.5 Energía Mareomotriz

Es la energía aprovechada por el movimiento del mar en forma de ascenso y descenso producido por las fuerzas de atracción gravitatoria entre el sol, la luna y la tierra para generar electricidad de forma limpia, ya que se trata de una fuente renovable inagotable que se utiliza de los océanos. Además su funcionamiento está en la diferencia de alturas que puede aprovecharse interponiendo partes móviles al movimiento natural del agua, cercano con mecanismos de canalización y depósito, así obtener la rotación del eje. Su acoplamiento a un alternador se puede utilizar para generar electricidad que luego es transportada a una central eléctrica en tierra firme y ser distribuida a los consumidores. (proyectopv, 2010)



Figura 2. 5 *Diseño de una torre mareomotriz.*

Fuente: Nergiza (2007)

2.2.6 Energía geotérmica

Es la energía aprovechada del calor almacenado bajo el interior de la tierra, palabra de origen griego, deriva de “geos” que significa tierra, y de “thermos” el calor de la tierra. El calor generado se transmite a través del subsuelo donde se encuentran temperaturas elevadas. La temperatura del núcleo puede llegar hasta 4000 °C, la cual varía con la profundidad, siendo el gradiente de 30°C/km (3°C/100m) (Energía Geotermica)

Además la energía calórica contenida bajo la tierra es enorme. Por ejemplo, los volcanes son pequeños orificios por donde el magma encuentra salida a la superficie; el calor del interior de la tierra derrite con facilidad la piedra y forma la lava que se derrama por las laderas de estos volcanes.

La energía geotérmica mantiene manifestaciones superficiales o alteraciones geotérmicas como se detalla a continuación:

- Emanaciones Gaseosas.
- Fuentes termales y minerales.
- Anomalías térmicas.
- Zonas de alteración hidrotermal.

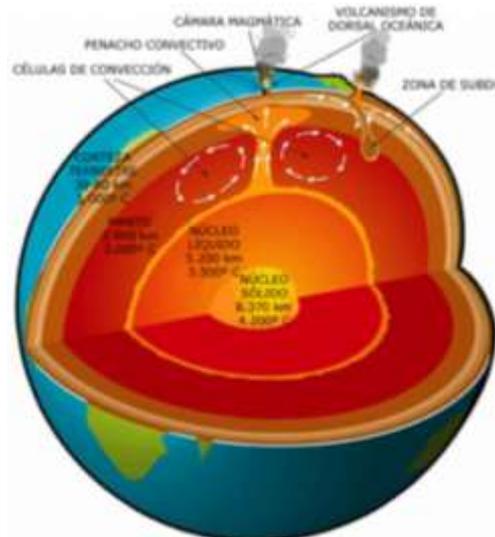


Figura 2. 6 Estructura interna del planeta tierra.
Fuente: Guía de Energía Geotérmica (2012)

CAPÍTULO 3

INCLINACIÓN Y ORIENTACIÓN DE LOS PANELES FOTOVOLTAICOS

3.1 Orientación del generador fotovoltaico

Este factor determina las coordenadas angulares y el posicionamiento del sol, además considerando las pérdidas inferiores de las posibles obstrucciones de paso de luz lo que limita la orientación e inclinación de los módulos, como se indica en la figura 3.1

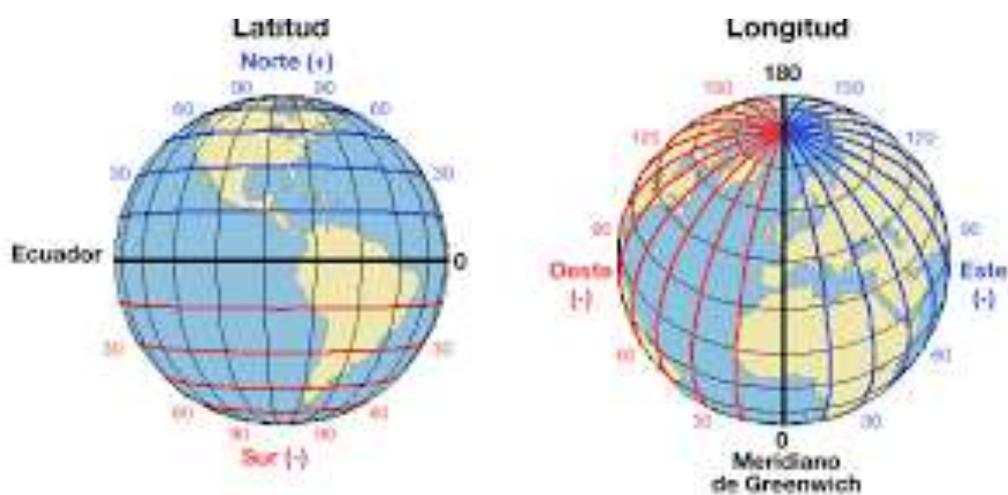


Figura 3. 1 *Paralelos y Meridianos de la corteza terrestre.*
Fuente: Maestría en Ingeniería Eléctrica (2012).

La tierra se divide en coordenadas geográficas basadas en latitud y longitud. En el hemisferio norte se considera la latitud positiva que varía entre $0 \pm$ y $90 \pm$, en el hemisferio sur se considera latitud negativa que varía entre $0 \pm$ y $-90 \pm$. En el paralelo de $0 \pm$ se le llama Ecuador terrestre. (Gonzalez, Hector Dominguez, 22 Noviembre 2012)

Una vez descritas las coordenadas que nos permiten situar el sol en el cielo, hay que posicionar el panel fotovoltaico de manera que reciba la mayor cantidad posible de energía solar.

Definiciones para observar la superficie terrestre son las siguientes:

Ángulo de acimut (Ψ_s): Es el ángulo formado por la proyección del sol sobre el plano del horizonte con sentido sur positivo 0° a 180° hacia el oeste y negativo hacia el Este 0° a -180° . (Gonzalez, Hector Dominguez, 22 Noviembre 2012)

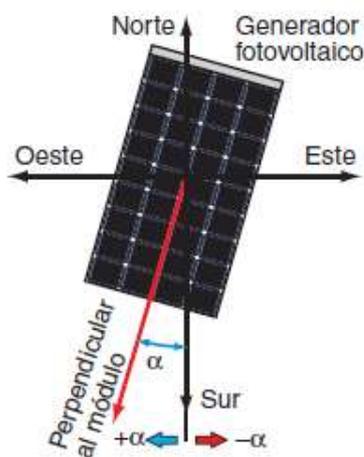


Figura 3. 2 Ángulo de acimut (α) de un módulo fotovoltaico.
Fuente: Módulos Fotovoltaicos (2010).

Ángulo de inclinación (β): Es el ángulo que forma la superficie del generador y que incide la radiación y captada por los módulos del panel, al producir su máxima radiación se colocará en posición perpendicular con respecto al eje vertical del lugar.

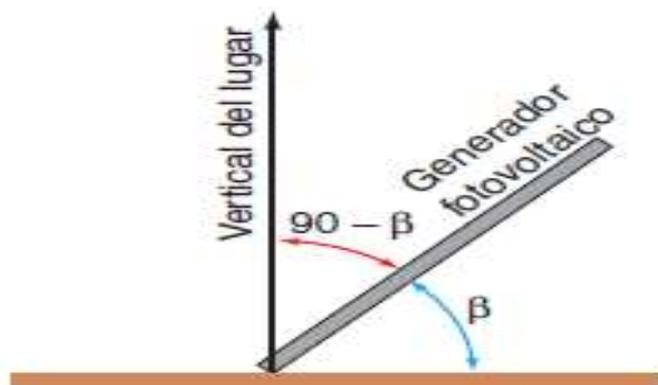


Figura 3. 3 Ángulo de inclinación (β) de un módulo fotovoltaico.
Fuente: Módulos Fotovoltaicos (2010).

Si al ser colocados en posición perpendicular en sentido al sol se obtendrá mayor parte de energía, pero cuando el sol cambie su rotación en el trayecto del día, la posición óptima de la superficie incluso tendrá que ser variable al transcurso del año.

Además se considera un grupo de ángulos que depende de la radiación solar.

La latitud (ϕ): Es la distancia angular formada, donde se intercepta la recta vertical zenit y la línea Ecuador. En donde sus direcciones indican el signo positivo hacia el norte y negativo hacia el sur. Con la latitud del Ecuador su determinación es cero grados.

Ángulo zenital (θ_{zs}): Es el ángulo formado por la trayectoria del sol y el eje vertical, indicando el ángulo de complemento que corresponde a la altura del sol. La cual se la calcula de la siguiente expresión:

$$\theta_{zs} = \text{acos}(\text{sen}(\phi) * \text{sen}(\delta) + \text{cos}(\phi) * \text{cos}(\omega))$$

O más bien de la siguiente manera:

$$\theta_{zS} = (90 - \alpha)$$

Nadir: Es el vector opuesto de la esfera terrestre al cenit, lo que se denomina nadir.

Altura solar (γ_s): Se determina el ángulo que forman los rayos solares sobre la horizontal. El ángulo complementario de la distancia cenital.

Declinación: Es la posición angular que forman las direcciones que interceptan en los centro del sol y la superficie terrestre con respecto al plano del Ecuador. Dado que el eje de rotación de la tierra posee una declinación de 23.45° , dependiendo ésta declinación varíe en el transcurso de todo el año. (Cabrero, 2015)

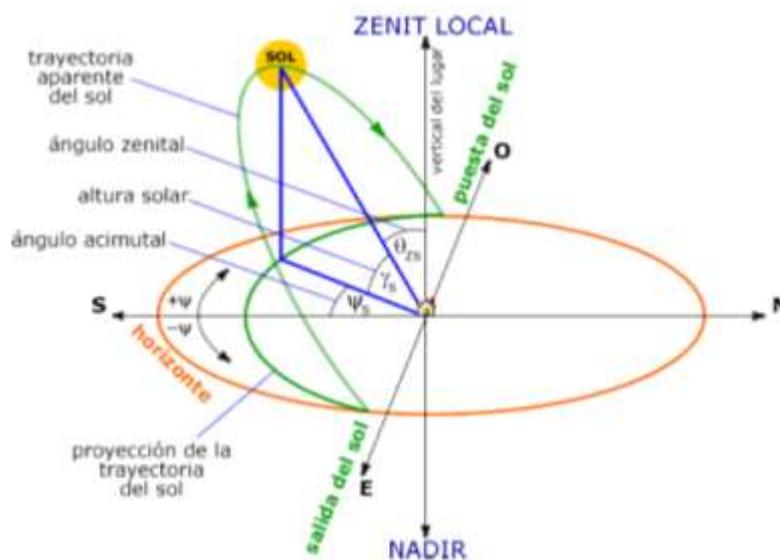


Figura 3. 4 Desplazamiento solar durante el día.
Fuente: Cambio de clima (2014)

La declinación δ es expresada con la siguiente formula, dado en grados.

$$\text{sen } \delta = 0,3979 * \text{sen} \left(\#de \text{ dias} * \frac{360}{365} \right)$$

Ejemplo: Hallar la declinación angular del sol en la temporada de verano en los meses de mayo hasta diciembre. Guíese en la tabla 3.1

Tabla 3. 1 *Meses en temporada de verano.*

MESES	DIAS
Mayo	30
Junio	30
Julio	31
Agosto	30
Septiembre	30
Octubre	31
Noviembre	30
Diciembre	31
Total	243

Fuente: Autor

$$\text{sen } \delta = 0,3979 * \text{sen} \left(243 * \frac{360}{365} \right) = -0.3496 \text{ rad}$$

$$\gamma = -0.3496 \text{ rad} * \frac{57.2957^\circ}{1 \text{ rad}} = -20.03^\circ$$

3.2 Radiación solar

Es el flujo de energía recibida del sol en forma de ondas electromagnéticas de diferentes frecuencias (luz visible, infrarroja y ultravioleta), mediante reacciones nucleares de fusión que se producen dentro del núcleo, que es origen de los movimientos de circulación de la atmosfera y mares. Por lo que recibe el nombre de radiación solar y que está constituida por radiación directa y radiación difusa. Su unidad es el W/m^2 (vatio por metro cuadrado).



Figura 3. 5 *Radiación Solar*.
Fuente: Energía Portátil (2011).

La intensidad de radiación solar que llega del espacio hacia la atmósfera y que se propaga en todas las direcciones mediante ondas electromagnéticas lo que depende de la distancia entre el sol y la tierra como se muestra en la figura 3.5. Incluyendo que la distancia varía constantemente, el transcurso de la órbita del planeta forma una trayectoria elíptica y su extensión cambia entre 1.47×10^8 y 1.52×10^8 km. Se puede afirmar el valor de la irradiación fluctúa entre $1.325 \frac{W}{m^2}$ y $1.412 \frac{W}{m^2}$, el valor medio $1.353 \frac{W}{m^2}$ de dicha irradiación se considera como constante solar. (Gonzalez, Hector Dominguez, 22 Noviembre 2012)

Los factores que pueden afectar la cantidad de radiación solar disponible:

Nubosidad: Tiene un efecto plano sobre la radiación ultravioleta, lo que se puede originar una barrera para el paso de radiación solar, reflejando y absorbiéndola. La cantidad de radiación ultravioleta atenuada por la nube será función del tipo de nube que se presente en la atmósfera.

El efecto de las nubes más densas y oscuras bloqueará más la radiación ultravioleta lo que logrará disminuyendo su eficiencia, las nubes blancas y con menor desarrollo debilitan la medida de radiación.

Altitud: A mayor altitud de la atmósfera es más delgada y absorbe una menor proporción de radiación ultravioleta. Con cada 1000 metros de incremento de la altitud, la intensidad de la radiación aumenta en un 10 a 12%.

Ozono: Absorbe mayor parte de las radiaciones altamente de la energía del sol que no solo lo crean, sino que vuelven a descomponerse, creando nuevamente oxígeno nuclear y átomos de oxígenos libres. La concentración de ozono varía a lo largo del año e incluso del día.

3.3 Radiación solar sobre una superficie

El flujo de radiación solar que impacta en la superficie de la tierra depende de 2 factores:

- ✓ Factores astronómicos: Son aquellos que dependen de la geometría tierra-sol. Es decir, son función de la posición relativa sol-tierra y de las coordenadas geográficas del lugar considerando, latitud y longitud.
- ✓ Factores climáticos: Su factor principal es la altitud del sol que influye en las temperaturas y precipitaciones que varían en unas zonas u otras.

La influencia de la latitud con respecto a la temperatura es muy grande, lo que el ángulo de incidencia de los rayos solares determina la cantidad de calor que recibe una superficie. (Ecuared, 2015)

La radiación sobre una superficie esta expresada en la siguiente manera:

$G_{dm}(0)$: Valor medio mensual o anual de la irradiación diaria sobre superficie horizontal en $kwh/(m^2 * día)$

Ejemplo: Deseamos calcular la cantidad de irradiación emitida por el sol, con una inclinación de 55° en el mes de enero y anual. Basándose en la tabla 3.2

Tabla 3. 2 Radiación Interceptada por una superficie inclinada.

RADIACION INTERCEPTADA POR UNA SUPERFICIE INCLINADA													
Inclinacion	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Total anual
0°	6.362	9.798	14.150	19.552	21.184	23.530	25.874	22.986	16.118	10.762	7.326	6.236	5.604.298
5°	7.054	10.584	14.868	19.990	21.338	23.614	26.048	23.438	16.790	11.496	8.078	7.088	5.803.292
10°	7.704	11.316	15.504	20.410	21.480	23.566	26.072	23.754	17.366	12.168	8.782	7.892	5.972.362
15°	8.312	11.982	16.048	20.712	21.444	23.382	25.940	23.970	17.840	12.770	9.440	8.654	6.107.994
20°	8.870	12.576	16.504	20.902	21.298	23.072	25.658	24.064	18.214	13.300	10.042	9.368	6.209.950
25°	9.380	13.098	16.862	20.966	21.072	22.648	25.274	24.018	18.484	13.752	10.582	10.022	6.278.924
30°	9.832	13.544	17.122	20.910	20.726	22.138	24.764	23.826	18.638	14.124	11.060	10.612	6.312.798
35°	10.224	13.904	17.282	20.730	20.270	21.508	24.114	23.496	18.694	14.410	11.472	11.138	6.310.386
40°	10.554	14.184	17.342	20.436	19.702	20.764	23.330	23.024	18.634	14.612	11.814	11.592	6.271.428
45°	10.818	14.378	17.300	20.024	19.026	19.908	22.406	22.420	18.474	14.728	12.082	11.972	6.195.994
50°	11.014	14.482	17.154	19.494	18.250	18.944	21.360	21.688	18.198	14.754	12.274	12.278	6.084.294
55°	11.148	14.498	16.908	16.908	17.380	17.884	20.200	20.828	17.818	14.692	12.390	12.508	5.937.902
60°	11.206	14.428	16.566	18.118	16.424	16.780	18.948	19.852	17.338	14.542	12.430	12.646	5.759.668
65°	11.194	14.266	16.128	17.278	15.432	15.635	17.680	18.768	16.756	14.308	12.394	12.706	5.554.124
70°	11.114	14.022	15.596	16.342	14.384	14.426	16.320	17.586	16.084	13.984	12.278	12.686	5.318.286
75°	10.996	13.686	14.974	15.324	13.266	13.150	14.886	16.366	15.320	13.582	12.084	12.584	5.054.892
80°	10.750	13.274	14.274	14.238	12.094	11.820	13.380	15.062	14.472	13.100	11.820	12.400	4.765.032
85°	10.464	12.782	13.488	13.108	10.874	10.524	11.820	13.682	13.552	12.538	11.480	12.136	4.452.878
90°	10.118	12.212	12.634	11.916	9.650	9.270	10.384	12.244	12.554	11.906	11.068	11.972	4.126.744

Fuente: Módulos Fotovoltaicos (2010).

$$G_{dm}(55^\circ) = \frac{11.148}{3600} = 3.09 \text{ KW} \cdot h / (m^2 \cdot dia)$$

Irradiación en el mes de enero es de 31 días

$$G_m(55^\circ) = 31 \times G_{dm}(55^\circ) = 31 \times 3.09 = 95.79 \text{ KW} \cdot h / m^2$$

Irradiación Anual

$$G_m(55^\circ) = \frac{5.937.902}{3600} = 1.649 \text{ kw. h/m}^2$$

3.3.1 Radiación directa

Es la forma más directa de recibir los rayos del sol sin perjudicar su interrupción de trayecto hacia la superficie terrestre.

3.3.2 Radiación difusa

Es la que atraviesa la atmósfera con radiación emitida por la luz del sol y es reflejada por las nubes o absorbida por éstas. Lo que genera una dispersión en todas sus direcciones por moléculas y aerosoles que luego es pactada a las células del panel.

3.3.3 Radiación reflejada o de albedo

Como su nombre mismo lo indica que es reflejada y rebotada en la superficie terrestre y la cantidad de radiación solar va depender del coeficiente de reflexión hacia el receptor.

Las superficies horizontales no reciben ninguna radiación reflejada, porque no observan ninguna superficie terrestre y las superficies verticales son las que más radiación reflejada reciben. (Construmática, 2015)

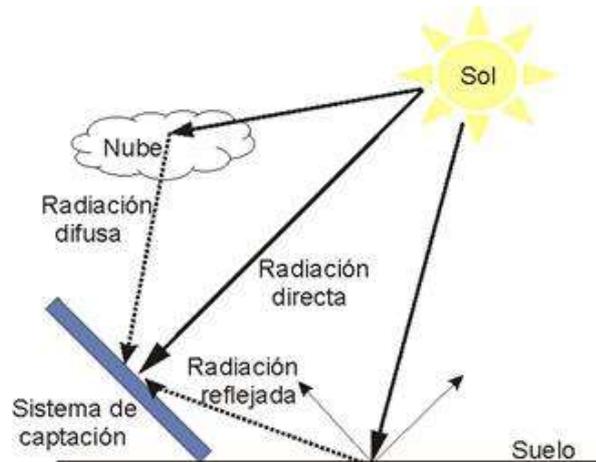


Figura 3. 6 Componentes de la radiación solar terrestre.
Fuente: Diseño Bioclimático (2014).

3.4 Radiación sobre una superficie inclinada

Es basado en la intensidad de radiación luminosa dependiendo de la altitud del sol lo que se considerará los factores de pendiente y orientación. Además el efecto orientación busca direccionarse hacia el sur en oposición al lado norte.

Se debe calcular el valor medio anual de la irradiación diaria de la tierra.

$$G_a(\beta_{opt}) = \frac{G_a(0)}{(1 - 4.46 \times 10^{-4})(\beta_{opt} - 1.19 \times 10^{-4})(\beta_{opt}^2)}$$

$G_a(\beta_{opt})$: Valor medio anual de irradiación global sobre una superficie con inclinación optima ($kw. h/m^2$).

$G_a(0)$: Media anual de la irradiación global horizontal ($kw. h/m^2$).

β_{opt} : Inclinación optima de la superficie (grados).

3.5 Factor de irradiación

Es el porcentaje de radiación incidente para un generador fotovoltaico de orientación e inclinación (α, β) respecto a la correspondiente para una orientación e inclinación óptima $(\alpha = 0^\circ, \beta_{opt})$. Las pérdidas de radiación respecto a la orientación óptima esta expresada en la siguiente manera (Cálculos Instalacion Fotovoltaica):

Para ángulos de inclinación: $15^\circ < \beta \leq 90^\circ$

$$FI = 1 - \left[1,2 \times 10^{-4} (\beta - \beta_{opt})^2 + 3,5 \times 10^{-5} \alpha^2 \right]$$

FI : Factor de irradiación (sin unidades)

β : Inclinación real de la superficie (grados)

β_{opt} : Inclinación optima de la superficie (grados)

α : Acimut de la superficie (grados)

Para ángulos de inclinación: $\beta \leq 15^\circ$

$$FI = 1 - \left[1,2 \times 10^{-4} (\beta - \beta_{opt})^2 \right]$$

3.6 Desplazamiento de sombras entre filas de los módulos fotovoltaicos

Al realizar la parte constructiva de los paneles fotovoltaicos se consideran factores de desplazamiento entre un panel y otro lo que es necesario y recomendado juntarlos en filas. Hay posibilidades de que en la época de verano puedan darse

sombra unas filas a otras es mucho menores, debidas que el desplazamiento del sol es más alto, por lo tanto, la sombra arrojada por la fila es más pequeña.

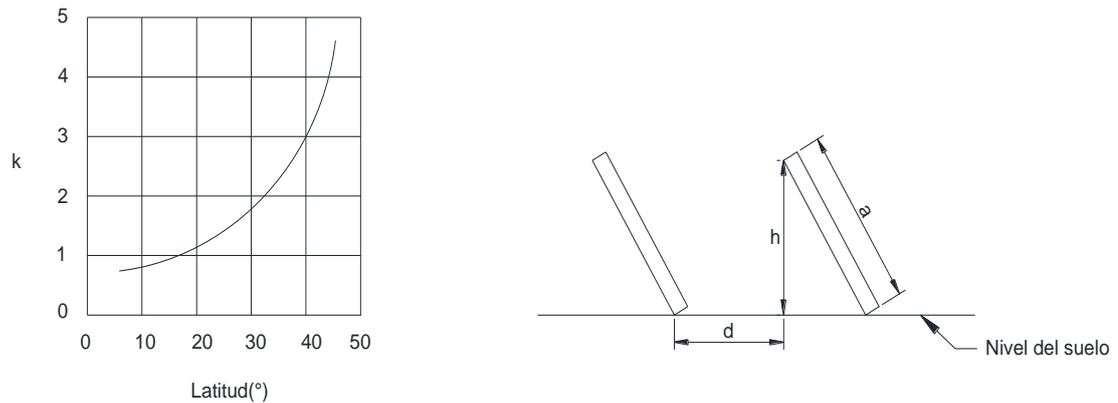


Figura 3. 7 *Desplazamiento entre filas de los módulos fotovoltaicos*
Fuente: Guía Fotovoltaica (2013).

La distancia mínima establecida entre fila y fila de cada panel fotovoltaico está acentuada por la latitud del espacio de la instalación, dado que el ángulo de incidencia solar varía también con este parámetro. Supongamos que debemos disponer una serie de módulos solares en fila, tal y como se ilustra en la figura 3.7, donde a es la altura de los módulos colocados en el bastidor, h la altura máxima alcanzada y d la distancia mínima entre fila y fila capaz de no producir sombras interactivas.

Una vez que se establece el valor a , y de la latitud del lugar, está en disposición de encontrar el factor h . dado por la curva, e ilustrando la tabla 3.3, donde se presentan por un lado el valor de a y por otro el ángulo de inclinación que se va a dar al grupo de paneles, obtener el valor de h . (Canarias, 2012)

La fórmula que se calcula la distancia a ; entre filas sucesivas de paneles será: $d=k.h$.

Tabla 3. 3 Valores de h ($h = a \text{ sen } \alpha$).

Ángulo de Inclinación	Distancia(a)		
	1.5 m	2.7 m	4 m
15°	0.38	0.69	1.03
20°	0.51	0.92	1.36
25°	0.63	1.14	1.69
30°	0.75	1.35	2.00
35°	0.86	1.54	2.29
40°	0.96	1.73	2.57
45°	1.06	1.90	2.82
50°	1.14	2.06	3.06
55°	1.22	2.21	3.27
60°	1.29	2.33	3.46
65°	1.35	2.44	3.62
70°	1.40	2.53	3.75
75°	1.44	2.60	3.86

Fuente: Guía Fotovoltaica (2013)

Ejemplo: Deseamos instalar 30 módulos fotovoltaicos, con cuyas dimensiones de 35 cm x 120 cm cada uno, en tres filas en un espacio posible al disminuir al máximo la distancia entre paneles. La latitud de ubicación es de 30° en sentido Norte. Las dimensiones de los soporte serán de 1.4 x 3.5 metros, tal y como se puede observar en la figura 3.8. Y su debida inclinación del conjunto será 60° sobre la horizontal para favorecer la radiación invernal. (Canarias, 2012)

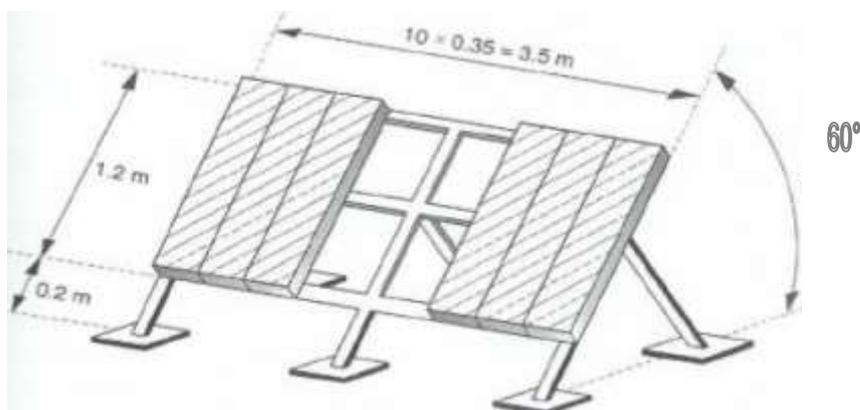


Figura 3. 8 Modelo de un panel para encontrar la distancia y ángulo

Fuente: Guía Fotovoltaica (2013)

Se observa en la curva k -latitud en la figura 3.7, dado el valor de k con la latitud de 30° da como resultado 1.9.

Al saber el valor y conociendo la variable a es de 1.4 metros, vayamos en la tabla 3.3 el valor de h en la columna de 1.5 m para 60° de inclinación y que resulta ser de 1.29. La fórmula a implementar es:

$$d=k.h$$

$$d= 1.9 \times 1.29 = 2.45 \text{ m}$$

Determinada la separación mínima entre los paneles fotovoltaicos será de 2.45 metros.

3.7 Ángulo óptimo de inclinación de los módulos solares

Cuando se determina la inclinación óptima de una superficie fija se implementa la ecuación basada en estudios estadísticos de radiación solar anual sobre superficies con distintas inclinaciones situadas en diferentes sitios de latitudes, que provee la inclinación óptima en servicio de las distancias angulares: (Guía técnica de aplicación para instalación de energías renovables)

$$\beta_{opt} = 3,7 + 0,69 \times |\varnothing|$$

β_{opt} = ángulo de inclinación óptima (grados)

$|\varnothing|$ = Latitud del lugar, sin signo (grados)

Aplicando la fórmula es correcta para la utilización anual que investiga la máxima captación de energía solar en todo el transcurso del año.

Mediante las prácticas y experiencias basadas en el campo laboral son más fáciles al determinar la inclinación óptima de los paneles en función del periodo de tiempo y el uso de implementar la central fotovoltaica.

Tabla 3. 4 Red de estaciones meteorológicas.

RED DE ESTACIONES METEREOLÓGICAS		
Provincia	Latitud (°)	Longitud
Imbabura	15	24' 3" W
Pichincha	13	22' 0" W
Cotopaxi	1	35' 41" W
Manabi	2	27' 35" W
Los Rios	4	29' 35" W
Orellana	55	25' 0" W
Pastaza	30	56' 38" W
El Oro	29	4' 54" W
Esmeraldas	1	22' 49" W
Sto. D. Tsach	28	20' 20" W
Tungurahua	23	25' 5" W
Cañar	33	56' 43" W
Azuay	14	16' 36" W
Loja	2	12' 4" W
Guayas	8	36' 1" W
Morona Sant	41	57' 31" W
Carchi	29	2'29" W
Bolivar	58	3' 48" W
Santa Elena	54	41' 0" W
Sucumbios	27	20' 2" W

Fuente: Ecuador ama la vida (2014).

Ejemplo: Hallar la inclinación óptima del sol en la ubicación de la provincia del Guayas. Guíese en la tabla 5.

$$\beta_{opt} = 3,7 + 0,69 \times |\phi|$$

$$\beta_{opt} = 3,7 + 0,69 \times 8 = 9.22^\circ$$

CAPÍTULO 4

CONCEPTO DE ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA

4.1 Definición

Resulta de la utilización directa de la radiación del sol que al incidir sobre un panel fotovoltaico, transforma la energía luminosa, u otra fuente de luz, en energía eléctrica.

La palabra “fotovoltaica” viene de photo (que significa “producido por la luz”) y el sufijo voltaico que se refiere a la electricidad producida por una reacción química. (Finder, 2011)

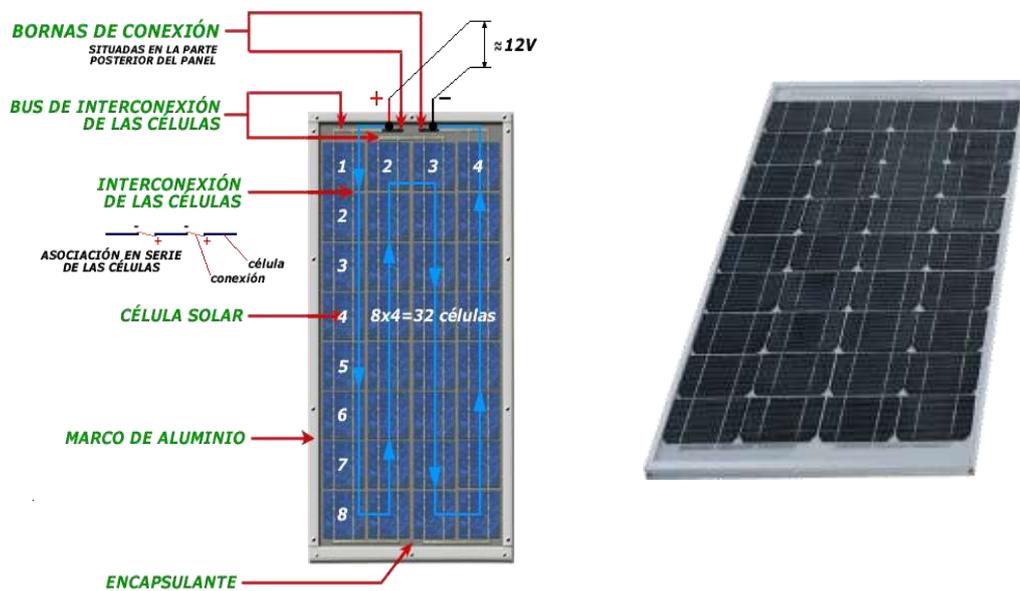


Figura 4. 1 Estructura del Panel Fotovoltaico.
Fuente: Paneles Fotovoltaicos (2009).

4.2 Componentes de un panel fotovoltaico

El panel fotovoltaico está constituido por un grupo de módulos solares iguales conectados eléctricamente entre sí, o en dos tipos de conexión: serie y paralelo, de forma que la tensión y el amperaje entregado por el panel se incrementa hasta ajustarse al valor ambicionado. La realización de los empalmes de los paneles solares se elabora agrupando primero células de conexión serie hasta conseguir el nivel de tensión deseada, y luego en paralelo para varias asociaciones serie de células para alcanzar el nivel de corriente deseado. (El Panel Fotovoltaico, 2003)

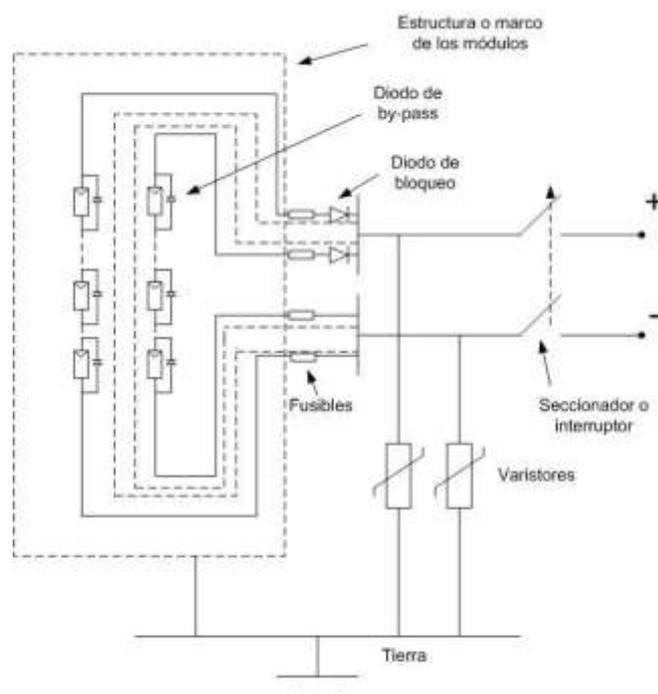


Figura 4. 2 *Esquema de un Panel.*
Fuente: Opex-Energy (2011)

Dado que los paneles requieren protección física frente a los agentes externos del ambiente, lo cual está compuesto en los siguientes elementos:

4.2.1 Encapsulante

Tipo de material que está constituido por silicona o conocido como acetato de vinilo-etileno (EVA), debido que es utilizado encapsular y cerrar herméticamente los módulos y películas delgadas de las células, que no afecta en su transparencia por la continuidad de reflexión de luz de los módulos.

4.2.2 Cubierta exterior de vidrio templado

Son equipos con cualidades de transmisión de luz a más de 90%, resistente a los golpes e impactos de la naturaleza, por lo que reduce significativamente el reflejo y no absorbe la humedad, de manera que entra más luz en la célula solar y generará una mayor conversión de potencia. (Sebastian, 2008)

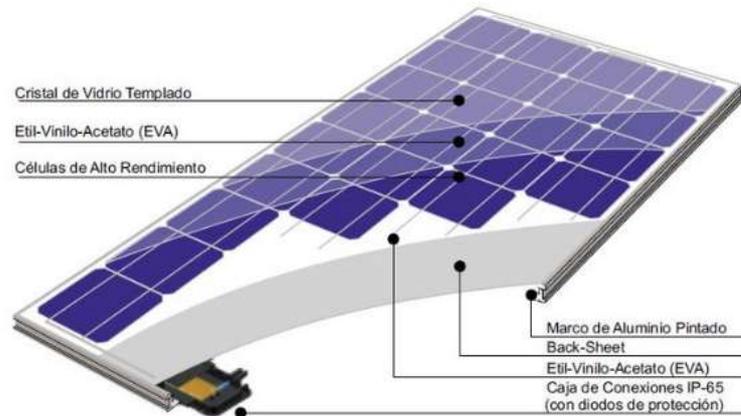


Figura 4. 3 *Cubierta exterior de vidrio templado.*
Fuente: Consultor en Gestión de Medio Ambiente (2010).

4.2.3 Cubierta posterior

Conformada normalmente por varias capas ó películas opacas que reflejan la luz del sol con muy baja resistencia térmica.



Figura 4. 4 *Cubierta posterior.*

Fuente: Consultor en Gestión de Medio Ambiente (2010).

4.2.4 Caja de metal

Estructuras normalmente hechas de material de aluminio o de vidrio con infinidad de dimensiones para el montaje de módulos del panel lo que asegurará una rigidez en su conjunto sobre la base de la estructura.

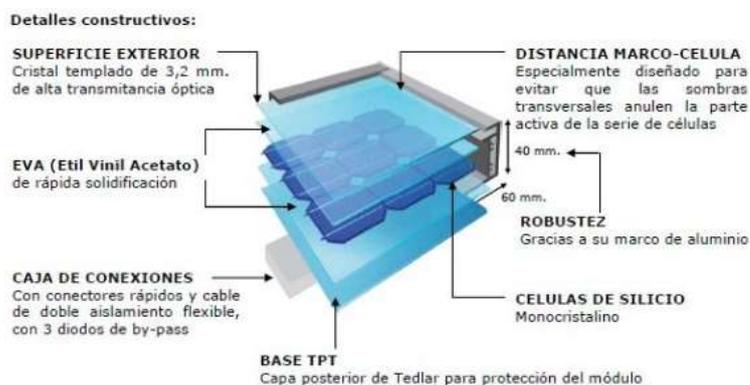


Figura 4. 5 *Caja de metal*

Fuente: Consultor en Gestión de Medio Ambiente (2010).

4.2.5 Caja terminales

Es el lugar donde se realizarán las debidas conexiones del panel fotovoltaico, además protegido de la intemperie donde las dimensiones de la caja son normalmente pequeñas y deberán que resistir a los cambios climáticos severos, cuenta con bornes sobresalido para ser conectados con los demás elementos que la

constituye como son: batería, regulador o carga directa de consumo. (Sebastian, 2008)



Figura 4. 6 *Caja de terminales.*
Fuente: Consultor en Gestión de Medio Ambiente (2010).

4.2.6 Diodo de protección

Elementos de protección llamados bypass solares su función principal es impedir el calor disipado que pasa por la celda y funcione como resistencia para proteger contra sobre-cargas u otras alteraciones de las condiciones de funcionamiento que se encuentre el panel. (Energía Fotovoltaica , 20010)



Figura 4. 7 *Diodo de protección.*
Fuente: Consultor en Gestión de Medio Ambiente (2010).

4.3 Tecnología de paneles fotovoltaicos

Existen varios tipos de paneles adaptándose a las características constructivas de materiales sólidos, especialmente semiconductores donde se obtiene una gran eficiencia de operación.

4.3.1 Silicio puro monocristalino

Están constituidos por un único metal cristal de silicio por lo que sus átomos están perfectamente alineados garantizando una mayor conductividad. La mayor pureza del material garantiza un desarrollo de alta eficiencia llegando incluso al 15% de su rendimiento del material.

Las células fotovoltaicas están diseñada en color azul oscuro uniforme y, generalmente, tienen un diseño octogonal con un espesor aproximado de 0,2 – 0,3 mm. Una célula fotovoltaica de silicio monocristalino de 100 cm^2 producirá cerca de 1.5 voltios de energía a 0.5 voltios de corriente continua y 3 amperios bajo la luz del sol en pleno verano (el 1000 Wm^2).

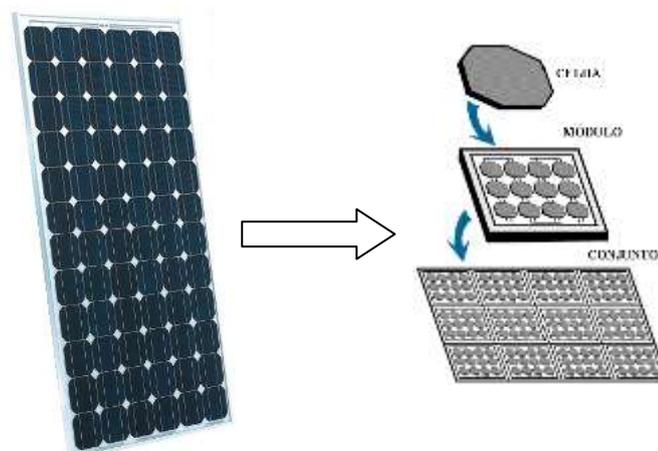


Figura 4. 8 *Panel solar monocristalino.*
Fuente: Celdas FV Fabricación (2010)

4.3.2 Silicio puro policristalino

Están constituidas por células que se obtienen a partir de bloques de silicio obtenidos por fusión que se basan en secciones de barra de silicio puro en moldes especiales. El material de silicio se enfría paulatinamente, solidificándose (Líquido a

Sólido). En este proceso, los átomos no se organizan en un único cristal, sino que toman aspecto de una estructura policristalina con superficies de separación entre los cristales. Su potencia pico se caracteriza en medir 25°C de temperatura ambiente considerando la eficiencia en conversión de luz solar en electricidad lo que es menor a las de silicio Monocristalino.

Además se obtiene que el panel tenga un rendimiento inferior que con los monocristalinos (en pruebas de laboratorios el 19.8% y en los módulos comerciales el 14%) siendo su precio más económico y los designan paneles de lámina delgada. (Sitiosolar, 2009)



Figura 4. 9 *Diseño de panel silicio puro policristalino.*
Fuente: Sitio Solar (2010)

4.3.3 Silicio amorfo (TFS)

Son láminas de formas finas y flexibles con celdas que absorben mayor radiación solar, logrando generar más energía eléctrica sobre superficies de vidrio o metal. Dado que su tecnología llegaría a una eficiencia que fluctúa entre el 10 y 18% de su efectividad de radiactividad solar. (Energía Fotovoltaica)

La potencia generada en este tipo de tecnología oscila entre 0,1 y 150 Wp.
(Ministerio de Energía CIFES)



Figura 4. 10 *Diseño de panel silicio amorfo (TFS).*
Fuente: Comité Corfo (2013)

4.3.4 Teluro de cadmio

Es un material compuesto cristalino formado por elementos químicos de cadmio y telurio. Esta tecnología se la utiliza en película delgada de célula solar, además material que es aplicada últimamente en las pantallas de las calculadoras. El color las células del material son marrón o azul oscuro. En los rendimiento de laboratorio obtienen un 16% y en módulos comerciales 8%. (Sitiosolar, 2009)



Figura 4. 11 *Diseño de panel telurio de cadmio.*
Fuente: America Do Sol (2010)

4.3.5 Arseniuro de galio

Es un material semiconductor con el cual se fabrica las celdas fotovoltaicas que cumplen una mayor eficiencia de conductividad, que son usados en sistemas de concentradores y en sistemas de actividades espaciales. En los rendimientos de laboratorio obtienen un 25.7% y en módulos comerciales 20%. (Sitiolar, 2009)

4.3.6 Diseleniuro de cobre en indio

Se trata de una película de material poli cristalino de suma alta absorción de radiación solar, debida que es bastante similar a las del telurio de cadmio. Además tienen una buena apariencia y son atractivas en la colocación de los edificios. Tienen un nivel de rendimiento del 12% y superior a la del silicio amorfo. (America Do Sol)



Figura 4. 12 *Diseño de panel diseleniuro de cobre en indio.*
Fuente: Habitissimo (2009)

4.4 Tipos de paneles de acuerdo a su construcción

Los paneles fotovoltaicos con respecto a su función están divididos en 3 tipos: sistemas de concentración, formato y bifaciales.

4.4.1 Paneles con sistemas de concentración

Está constituido por un sin número de serie de superficies reflectantes que concentran la luz solar en los paneles fotovoltaicos y producirá electricidad debido que recibe una cantidad concentrada de fotones.

4.4.2 Paneles de formato “teja o de baldosa”

Estos paneles tienen forma de construcción pequeña, lo que obliga a realizar paneles en forma más grande para cubrir las necesidades técnicas e instalación de montaje de los equipos en las viviendas. Estos son capaces para cubrir grandes

factores de demandas energéticas en los que se necesita una elevada superficie de captación. (Sitiosolar, 2009)

4.4.3 Paneles bifaciales

Son paneles especiales capaces de absorber la energía solar y transformarla en energía eléctrica, en cualquiera de sus dos superficies laterales donde captan la reflexión de la luz solar, lo que permite técnicamente generar energía eléctrica hasta un 50% más de los paneles normales. (Sitiosolar, 2009)



Figura 4. 13 *Diseño de paneles bifaciales.*
Fuente: Paneles Bifaciales (2009)

4.5 Elementos asociados a los paneles fotovoltaicos

Es el principal equipo encargado de captar la radiación electromagnética sol y convertirla en fuente de energía eléctrica. Vinculando otros elementos que constituyen en su construcción sin descuidar el debido sistema de las protecciones.

Los componentes esenciales de una instalación son:

4.5.1 Regulador

Es un equipo de regulación de carga entre las conexiones de los paneles fotovoltaicos y las baterías, lo que recibe el nombre de regulador, lo cual la función es evitar situaciones de carga y sobredescargas de la batería, con el objetivo de alargar su vida útil.

4.5.1.1 Reguladores o controladores de carga MPPT

Son controladores de seguidor de punto de máxima potencia encargados de regularla carga de las baterías de almacenamiento de ciclo profundo, buscando el punto en que los paneles fotovoltaicos empleados para la carga produzcan la mayor cantidad de energía eléctrica. (Renovaenergía, 2010)

Los controladores de carga con MPPT incluyen una función electrónica que buscan el balance perfecto entre tensión y amperaje de un panel fotovoltaico.

Puntos positivos de los reguladores MPPT

- ✓ Los controladores de carga ofrecen un potencial de incremento en la eficiencia energética hasta un 30% (típicamente podemos considerar al menos el 15%).
- ✓ Estos controladores tienen la facilidad de realizar conexiones en serie a voltajes superiores al banco de baterías.
- ✓ Están disponibles de hasta 80 A de corriente máxima de salida.
- ✓ Las garantías de los controladores de carga MPPT son parecidamente mayores a las unidades PWM.

- ✓ Regulación de 5 estados de carga máxima.

Puntos negativos de los reguladores MPPT

- ✓ Los controladores de carga MPPT son más costosos, costando a veces el doble que los PWM.
- ✓ Su consumo en espera es menor a 1 W.
- ✓ Con las características técnicas apropiado puede ser desafiante sin las guías del fabricante.



Figura 4. 14 *Regulador de MPPT.*
Fuente: Mppt Solar (2010)

4.5.1.2 Reguladores o controladores de carga PWM

Son equipos de modulación por anchos de pulso que permiten entregar el voltaje más firme, si su funcionamiento es de dos etapas, la primera mantendrá la tensión a una máxima seguridad para que la batería obtenga su carga completa.

Los reguladores comprueban continuidad de voltaje de la batería e indicando su nivel de carga, los impulsos estarán muy distanciados y su tiempo de reacción en segundos más rápido lo que mantendrá una carga completa. (Fondear, 2014)

Puntos positivos de los reguladores PWM

- ✓ Están contruidos con una tecnología de alto nivel.
- ✓ Son controladores económicamente baratos.
- ✓ Poseen un sistema de protección contra sobrecorriente y contra cortocircuitos.
- ✓ Poseen una vida útil de larga duración de funcionamiento, la mayoría de estos equipos tienen un sistema de refrigeración de calor pasivo.
- ✓ Estos dispositivos están protegido contra polarización inversa de los paneles y/o baterías.

Puntos negativos de los regulares PWM

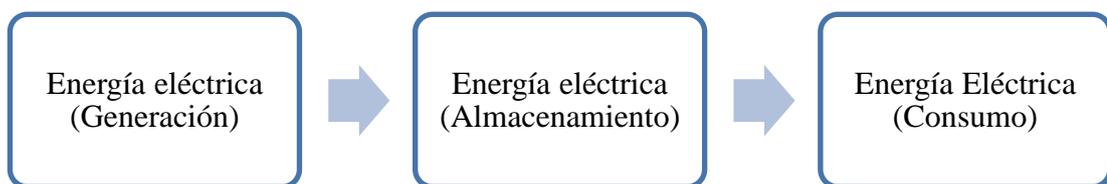
- ✓ La tensión nominal debe estar dimensionado con el mismo voltaje del banco de baterías.
- ✓ No hay controladores únicos para tamaños por encima de 60 A DC.
- ✓ Los más pequeños vienen sin accesorios.
- ✓ Los controladores de carga tienen una capacidad limitada para el crecimiento del sistema.



Figura 4. 15 *Regulador PWM.*
Fuente: Solostock (2009)

4.5.2 Batería

Es un dispositivo o acumulador eléctrico que está compuesto por una o más celdas electroquímicas capaces de transformar la energía química almacenada en electricidad. El funcionamiento de una instalación fotovoltaica será la siguiente manera:



4.5.2.1 Tipos de baterías

Todas las baterías de electrolito líquido producen gas hidrógeno y oxígeno (gasificación) en los electrodos durante la carga a través de la electrólisis. Estos gases pueden escapar a la atmósfera en una batería húmeda ventilada, lo que requiere mantenimiento regular, debiéndose en añadir agua destilada al electrolito para que se recupere su tensión nominal.

Además existen varios tipos de baterías: plomo-acido para automóviles, tipo gel y AGM.

4.5.2.1.1 Baterías de plomo

Están conformadas por dos electrodos de plomo e incluso trabajan bien a bajas temperaturas; son muy pesados y peligrosos debido a que el plomo es un metal tóxico, pierden la capacidad como resultado de los esfuerzos mecánicos y no son convenientes para la descarga demasiado tiempo debido al fenómeno de sulfatación.

Además proporcionan tensiones de 6, 12 voltios usadas para alimentar el sistema eléctrico de motocicletas, automóviles y camiones. Tienen un bajo costo, entregar corrientes muy altas, son fiables y de larga vida.

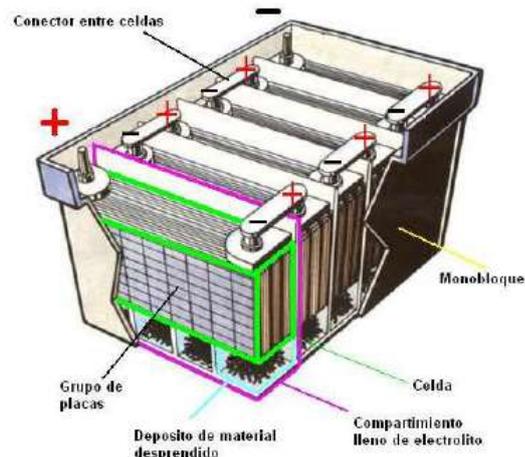


Figura 4. 16 *Batería de plomo-ácido*.
Fuente: Baterías (2005)

4.5.2.1.2 Baterías de gel

Las baterías de gel reciben el nombre por la celdas que dan energía, lo que contiene un electrolito que se encuentra unido a una masa gelatinosa que se produce agregando ácido silícico al ácido sulfúrico. (Ehowespañol)

El ácido fosfórico o también llamado ácido ortofosfórico compuesto químico ácido que va contenido en el electrolito que viene a incrementar la resistencia a ciclos de carga (cantidad de maniobra de carga y descarga) propiciando la recarga en caso de haberse producido una descarga profunda. (mgallegosantos, 2009)

Ventajas:

- ✓ Selladas y seguras frente a posibles derrame.
- ✓ Alta resistencia a tiempo de carga y descarga.

- ✓ Deben cargarse con tensiones más bajas.
- ✓ Carencia de mantenimiento.

Desventajas:

- ✓ Poseen malas propiedades de arranque en bajas temperatura.
- ✓ El precio en el mercado es elevado.
- ✓ Insuficiente disponibilidad.
- ✓ Incapaz de soportar altas temperaturas, lo que resulta inadecuado para su instalación.

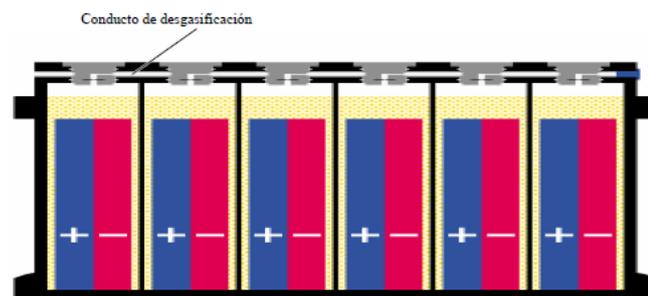


Figura 4. 17 *Batería de gel con electrolito fijado.*
Fuente: Gallegos Santos (2013)

4.5.2.1.3 Baterías de AGM

Son baterías conformadas con malla de fibra de vidrio absorbente. Las baterías poseen placas robustas que extiende su vida útil, un separador de fibra de vidrio sirve para alejar los bornes positivo y negativo de la batería cuyo electrolito es absorbido con un papel secante. Además las baterías se comportan en bajas temperaturas como en etapas de ciclo invernal lo que ofrece una descarga reducida.

Ventajas:

- ✓ Selladas y seguras frente a posibles derrame.
- ✓ Poseen una resistencia eléctrica interna muy baja.
- ✓ El ácido se absorbe mejor y más rápido por placas de plomo de batería.
- ✓ Ausencia de mantenimiento.
- ✓ Posee propiedades de arranque en bajas temperaturas.

Desventajas:

- ✓ Su costo de fabricación en el mercado es elevado.
- ✓ No son adecuadas para el trabajo a altas temperaturas, lo cual son sensibles a sobrecargas.

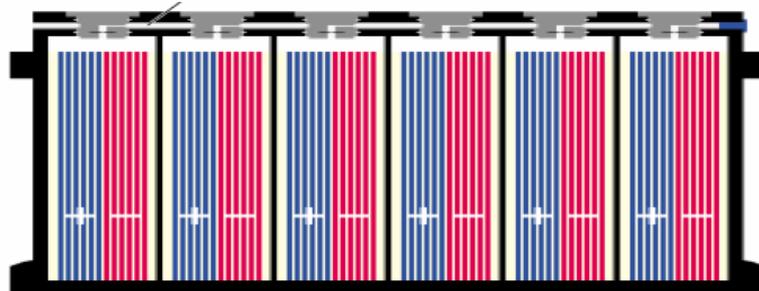


Figura 4. 18 *Batería AGM con la carcasa totalmente cerrada.*
Fuente: Gallegos Santos (2013)

4.5.3.2 Tipos de conexión de baterías o acumuladores

En conexiones de baterías se dispone de tres formas entre sí. En conexión serie, conexión paralelo o conexión mixta serie-paralelo. Solo y cuando qué tipo de conexión deseemos, incrementaremos el voltaje total, la intensidad o las dos.

4.5.3.2.1 Conexión paralelo

Al considerar una conexión paralela se de cumplir los parámetros siguientes: el mismo tipo de fabricación, voltaje nominal y potencia. Para una conexión cableada, los conectores de cada batería tienen una pequeña resistencia al igual que el cable que las une, en conjunto suman aproximadamente 0.0015 ohmios entre cada polo de la batería, de igual manera cada batería tiene una resistencia interna alrededor de 0.02 ohmios. Se duplicara la intensidad y mantener la misma tensión.

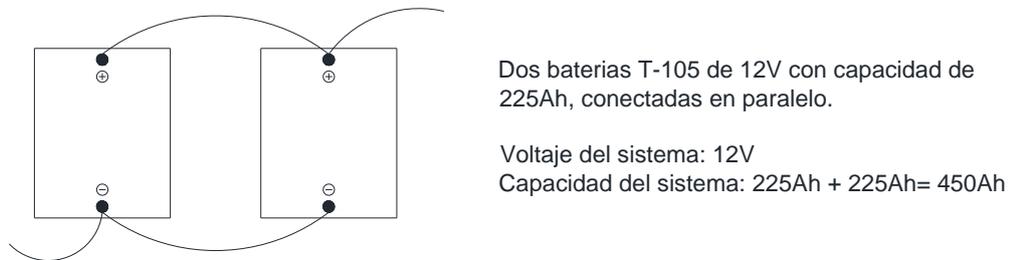
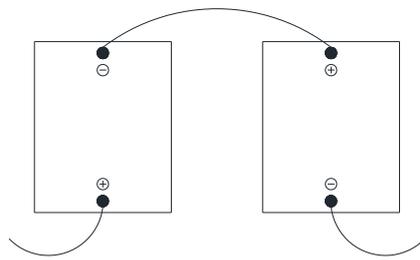


Figura 4. 19 *Conexión paralelo con dos baterías.*
Fuente: Battery Company (2010)

4.5.3.2.2 Conexión serie

Al considerar una conexión serie se de cumplir los parámetros siguientes: el mismo tipo de fabricación, voltaje nominal y potencia. Además expertos creen que baterías en serie son más fáciles de cargar y descargar debido a que se aplica la misma cantidad de corriente a cada celda de cada batería. Se duplicara la tensión y mantener la misma intensidad.



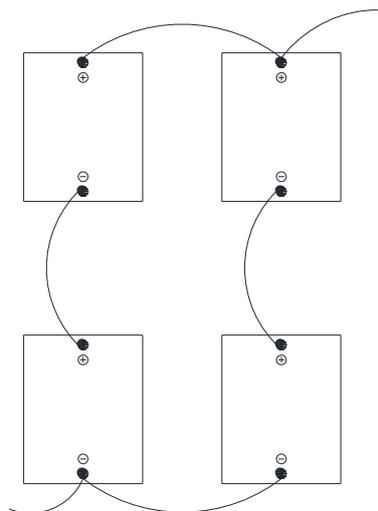
Dos baterías T-105 de 12V con capacidad de 225Ah, conectadas en serie.

Voltaje del sistema: $12V + 12V = 24V$
 Capacidad del sistema: 225Ah

Figura 4. 20 *Conexión serie con dos baterías.*
 Fuente: Battery Company (2010)

4.5.3.2.3 Conexión serie-paralelo

Es la combinación de la conexión serie y paralelo que presenta una duplicación de la tensión nominal, y la capacidad.



Cuatro baterías T-105 de 12V con capacidad de 225Ah, conectadas en serie-paralelo.

Voltaje del sistema: $12V + 12V = 24V$
 Capacidad del sistema: $225Ah + 225Ah = 450AH$

Figura 4. 21 *Conexión serie-paralelo con cuatro baterías.*
 Fuente: Battery Company (2010)

4.5.4 Calibre de conductores

Dependiendo de la carga que haya que alimentar, los cables de las baterías deben ser del tamaño que se muestra en la tabla 4.1

Tabla 4. 1 Cables para batería SGT 600V 75°C.

CALIBRE	SECCION APROX.	CONDUCTOR					PESO Cu TOTAL APROX.	ESPESOR DE AISLAM.	DIMENSION EXTERIOR APROX.	PESO TOTAL APROX.	CAPACIDAD CONDUCCIÓN *
		CONSTRUCCION				DIAMETRO					
		CLASE K		CLASE J							
		#	DIAMETRO	#	DIAMETRO						
AWG o MCM	mm	Hilos	mm	Hilos	mm	mm	Kg/km	mm	mm	kg/km	Amp
6	13.30	266	0.25	168	0.32	5.33	124.62	1.52	8.37	178.25	82
4	21.12	420	0.25	266	0.32	6.91	196.76	1.52	9.95	262.76	108
2	33.54	665	0.25	420	0.32	8.59	314.54	1.52	11.63	393.69	144
1/0	53.52	1064	0.25	665	0.32	11.50	503.26	2.03	15.56	644.72	201
2/0	67.35	1323	0.25	836	0.32	11.90	631.72	2.03	15.96	777.36	232
3/0	84.91	1666	0.25	1045	0.32	13.50	795.5	2.03	17.96	957.87	268
4/0	107.41	2107	0.25	1332	0.32	15.90	1006.07	2.03	19.56	1193.54	309
250	126.37	2499	0.25	1554	0.32	17.30	1193.25	2.41	22.12	1437.90	350
350	177.28	3458	0.25	2183	0.32	20.50	1666.74	2.41	25.32	1951.11	433

Fuente: Catalogo de cables comerciales Phelps Dodge International Corp.

4.5.5 Inversores

Es un componente tecnológico muy esencial de las instalaciones fotovoltaicas, que convierten la corriente continua generada en las células del panel en corriente alterna para ser inyectada a la red pública.

4.5.5.1 Inversores de paneles solares para sistemas aislados

Los inversores de los paneles solares realizan la función de convertir la corriente directa generada por una batería en corriente alterna. Los inversores en los sistemas aislados van desde unos 100 vatios hasta un máximo de 8000 vatios, y se necesita una alimentación para abastecer cierta cantidad de carga instalada.

Los convertidores de menor potencia son necesarios para hacer funcionar cargas menores que no sobrepasen su carga de operación, en cambio los de mayor potencia son útiles en alimentaciones de cargas de tipo doméstico o industrial. Para calcular que clase de inversor es necesario para su implementación, determinar las

dimensiones del panel solar, lo que se deberá hacer un levantamiento de cargas para la obtención de la demanda máxima en corriente alterna.

La condición que se adquiere en un convertidor de energía es contar con facilidad de disponer reserva para futuras cargas sin que afecte su capacidad nominal. Para suministrar la energía de las cargas se requiere una elevada corriente de arranque en el inicio, lo que tendrá que enviar a las cargas establecidas que estén en sí o no en funcionamiento. (infoenergiasolar, 2010)

4.5.5.2 Inversores sincrónicos de los paneles solares

Estos cumplen la función de que la energía convertida de los paneles se acumule en las baterías, caso contrario si hay exceso de energía, significa que no se ha utilizado en toda su capacidad nominal, esto debería que la energía excesiva se comercialice a la empresa distribuidora de generación la cual es producida al mismo tiempo.

Un inversor conectado a la red es un dispositivo eléctrico que permite a los usuarios proveer su red de suministro eléctrico con energía solar. Los sistemas fotovoltaicos que se componen de paneles solares y un inversor conectado a la red domiciliaria, con o sin acumuladores de energía funcionan mediante la regulación de la cantidad de voltaje y corriente que se recibe de los paneles solares en forma de corriente continua convirtiéndola en corriente alterna.

La principal diferencia entre un inversor independiente y un inversor conectado a la red que este último también se asegura de que su suministro eléctrico este en fase con la red eléctrica. (Tecnoficio, 2005)

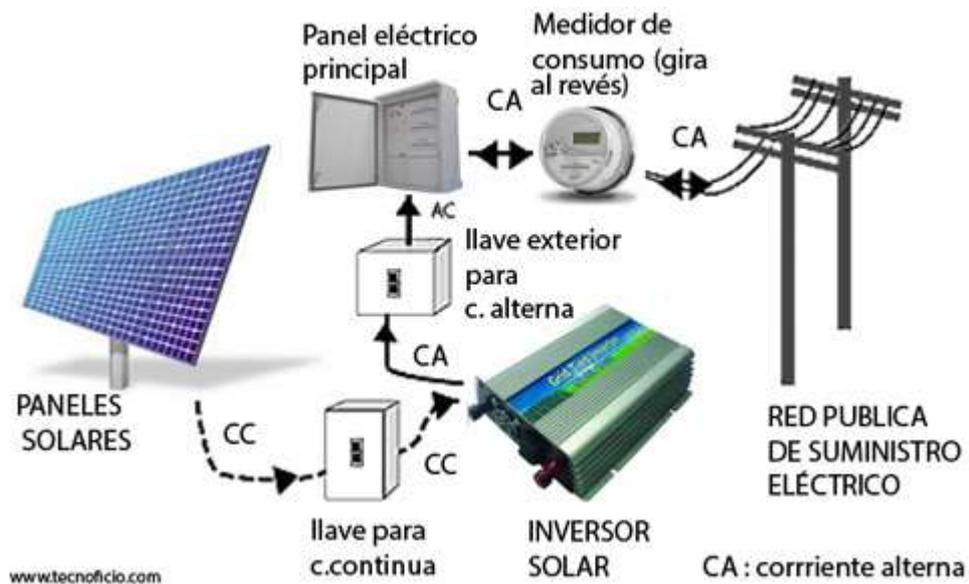


Figura 4. 22 *Diseño de generación de DC a CC con inversor sincrónico de un panel solar.*
Fuente: Tecnoficio (2010)

4.5.5.3 Inversores multifuncionales de los paneles solares

Los inversores multifuncionales funcionan bien en una ausencia de energía eléctrica, ya que es recomendable mantener un banco de baterías de reserva lo que permite almacenar la energía y no depender de la red eléctrica convencional. Además como otra opción de un generador para cubrir la ausencia de energía de la red pública y automáticamente entre a operar sin ninguna dificultad.

4.5.5.4 Inversores de onda sinusoidal originales o modificados

Es un inversor que convierte la corriente continua a corriente alterna a través de un sensible proceso de conmutación eléctrica. Este proceso hace que el inversor

tenga que realizar la función de un alternador sintetizado. Normalmente se utiliza para producir corriente alterna mediante la innovación de una suave alternancia, similar a un péndulo oscilante. Esta variación toma la forma de una onda sinusoidal, que es el ideal patrón de onda para la transferencia de potencia de la corriente alterna.

4.5.5.5 Inversores de onda sinusoidal modificados

Los inversores modificados de onda sinusoidal son mejores para las típicas aplicaciones solares en que los motores eléctricos no están implicados. Estos inversores modificados no son tan eficientes como los inversores originales de onda sinusoidal, pero también es cierto que son mucho más económicos. A diferencia de los inversores originales de onda sinusoidal, los inversores modificados producen una señal de onda escalonada, por lo que realmente no se puede considerar una onda sinusoidal.

Estos inversores de onda sinusoidal modificados cumplen características de operación como:

- ✓ Potencia de salida en wattios.
- ✓ Forma de onda de salida.
- ✓ Protección de sobrecarga.
- ✓ Frecuencia.
- ✓ Eficiencia.
- ✓ Protección de cortocircuito.
- ✓ DC voltaje de entrada.
- ✓ Protección de temperatura.

4.5.5.6 Inversores originales de onda sinusoidal

Estos inversores son de forma muy eficiente y detectan una señal de onda muy precisa de la onda sinusoidal pura. Estos inversores sinusoidales son un poco más costosos comparados a los inversores de onda sinusoidal modificados debido a la disminución del ruido y su fuerte compatibilidad con ciertos mecanismos, como los motores eléctricos. (infoenergiasolar, 2010)

CAPÍTULO 5

MANTENIMIENTO DE INSTALACIONES FOTOVOLTAICAS

5.1 Elementos donde se realiza el mantenimiento

Cuando se realiza el montaje de una planta fotovoltaica se requiere de un mantenimiento preventivo y correctivo para mantener la calidad de servicio en óptimas condiciones de funcionamiento. La conservación de los paneles fotovoltaicos es bastante sencilla de realizar, debido que son muy pocos elementos que la constituyen en su instalación. Los pasos primordiales a seguir son:

5.1.1 Módulos fotovoltaicos

En los paneles fotovoltaicos se debe realizar los siguiente pasos de mantenimiento como: Limpieza de los paneles, verificación de los elementos de sujeción y conexión, el estado de degradación de los elementos constructivos de los paneles y comprobación del estado de conexión puesta a tierra para proteger de sobre voltajes. (Opexenergy, 2007)



Figura 5. 1 *Limpieza de paneles.*
Fuente: Opex-Energy (2011)

5.1.2 Instalaciones eléctricas en corriente continúa

Se inspeccionará las conexiones, los conductores, el perfecto estado y recorrido de las cajas de derivación, sus filtraciones y además se deberán revisar los equipos de control y dispositivos de protección en su estado actual.

5.1.3 Instalaciones eléctricas en corriente alterna

Se deberá realizar las mismas observaciones como en corriente continua, los conductores en perfecto estado, las cajas de derivación, sus filtraciones y además se deberán revisar los equipos de control y dispositivos de protecciones.

5.1.4 Inversores

Se deberá inspeccionar principalmente que el sistema de ventilación este en óptimas condiciones, las conexiones estén bien realizadas y que no allá ningún inconveniente en su instalación.

5.1.5 Sistema de ventilación y/o climatización

Se deberá inspeccionar el sistema de ventilación para eludir que se alcancen altas temperaturas que puedan provocar disparos en las protecciones de los inversores y los demás equipos eléctricos, para ello se deberá verificar que las rejillas o filtros estén limpios y sin obstrucción, adicional se deberá comprobar que los intercambiadores estén lo más aseado posible. (Opexenergy, 2007)

5.1.6 Estructura para montaje de panel fotovoltaico

Realizar la inspección visual de los daños en las estructuras como los motivos de oxidación y su deterioro por agentes ambientales. Además se realizará verificaciones de canalizaciones y ducteria para el recorrido del cableado estructural, para observar su estado y prevenir roturas que pudiesen ocasionarse.

5.2 Equipos de prueba aplicada al mantenimiento

Los equipos empleados para realizar un ensayo de lecturas a las células fotovoltaicas se consideran los siguientes elementos:

5.2.1 Termografía

Al realizar un mantenimiento de las plantas fotovoltaicas cabe señalar que en las cámaras termográficas debe realizarse comprobaciones visuales rápidas y sencillas de búsqueda de puntos calientes, que pueden transformarse en averías, con estas cámaras se podrán buscar paneles defectuosos o empalmes mal hechos. (Opexenergy, 2007)

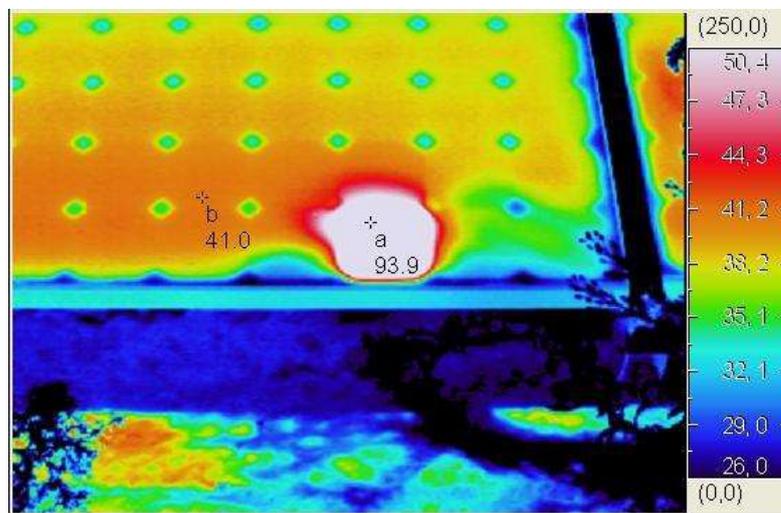


Figura 5. 2 *Termografía de un panel fotovoltaico.*
Fuente: Opex-Energy (2011)

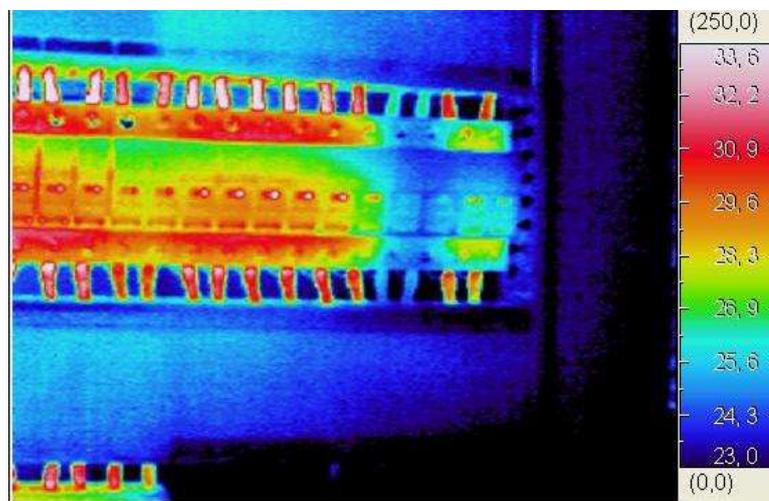


Figura 5. 3 *Caída de un circuito, en puntos en colores más frío.*
Fuente: Opex-Energy (2011)

5.2.2 Trazador de curva I/V

La inclinación de la curva indicará los análisis de voltaje y corriente, la intensidad de salida de un panel fotovoltaico varía con el voltaje de la carga y su temperatura, los estados de funcionamiento de los módulos para identificar las pérdidas por conexión debido a trabajar en puntos no adecuados. (Opexenergy, 2007)

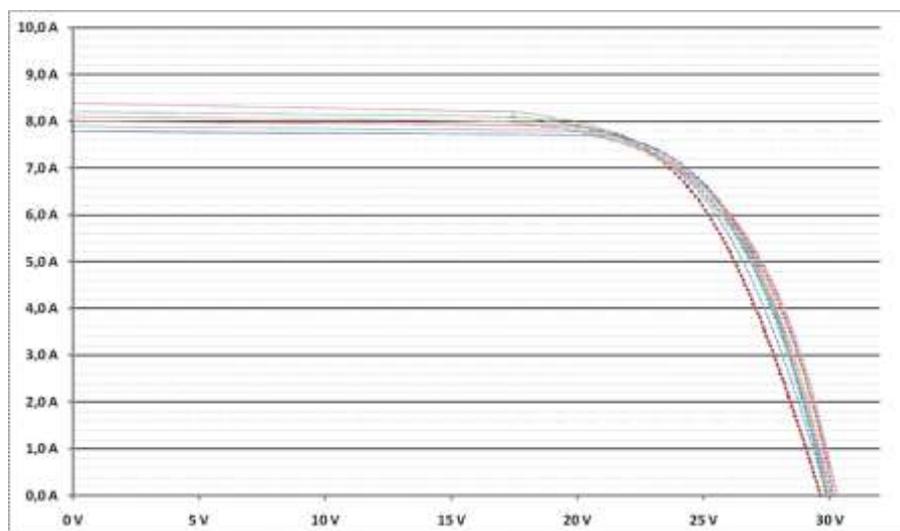


Figura 5. 4 Grafica de cada módulo que configura string.
Fuente: Opex-Energy (2011)

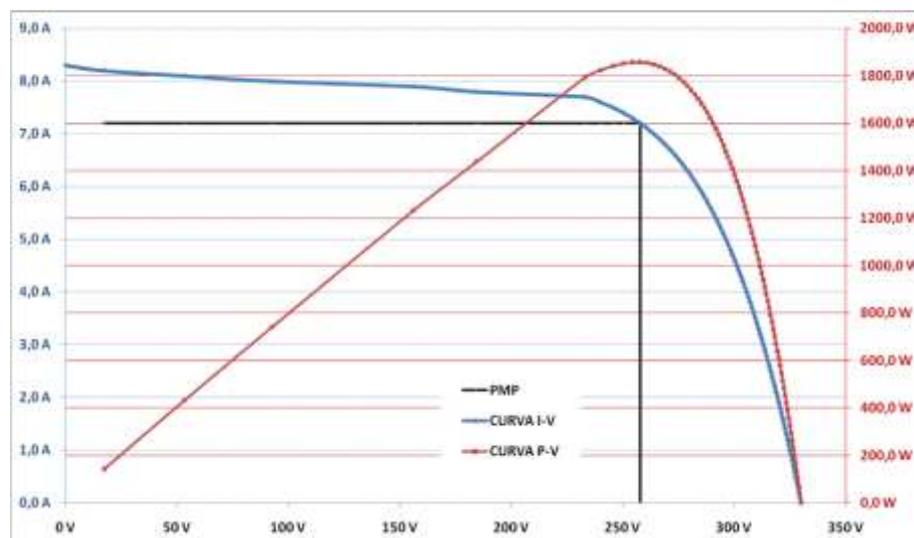


Figura 5. 5 Grafica resultante del string.
Fuente: Opex-Energy (2011)

5.3 Equipos de protección de un panel fotovoltaico

El sistema de protecciones de las instalaciones fotovoltaicas garantiza la calidad de corriente inyectada protegiendo de cualquier variación o anomalía en las condiciones de trabajo.

5.3.1 Instalación de cableado

La selección del conductor debe ser calculado para su respectiva alimentación y su unidad es Amperio (A). El material de aislamiento posee excelentes propiedades eléctricas tales como alta resistencia de aislamiento y baja constante dieléctrica, así como excelente resistencia a la humedad.

5.3.2 Protecciones contra sobretensiones, cortocircuitos y sobrecargas

Se utilizan interruptores y fusibles de protección para proteger los equipos y personas. Los interruptores cumplen su función de cortar manualmente el flujo de corriente en caso de emergencia o en parada de mantenimiento programado, en tanto los fusibles su función es proteger contra sobrecorriente en caso de un corto circuito del sistema o una falla a tierra. (Garcia, 2006)

5.3.3 Conexión a tierra

Toda estructura metálica debe estar aterrizada con una varilla de cobre de $\emptyset \frac{5}{8} \times 1.5 \text{ m}$ y con sus respectivas protecciones de instalación para que su funcionamiento sea confiable y seguro.

5.4 Impacto ambiental de la energía solar fotovoltaica

La utilización y montaje de los sistemas de generación fotovoltaica son importantes para reducir lo más posible el impacto ambiental. Hoy en día los componentes de los paneles fotovoltaicos son cada vez mejor en sus características técnicas que buscan ser más eficiente y con materia prima más limpia.

5.4.1 Clima

Es un fenómeno natural que permite considerar el paso de luz solar proveniente del sol, esta luz se considera totalmente limpia ya que no requiere de ningún combustible fósil.

5.4.2 Geología

La fabricación de las células fotovoltaicas utiliza silicio, elemento obtenido de la arena, muy abundante en la tierra y del que no se requieren cantidades significativas.

5.4.3 Suelo

Primeramente se debe realizar un estudio de terreno que indicará su nivel apto de producción, en caso de que el resultado del estudio indique que es un terreno muy fértil, la decisión es no utilizar el terreno. Para la construcción de paneles fotovoltaicos su instalación más recomendada es ubicándolas en techados, fachadas y terrazas de edificios.

5.4.4 Aguas superficiales y subterráneas

La implantación de centrales fotovoltaicas cerca de ríos, lagunas o mares es puede ocasionar severas anomalías en la vida animal marina, primeramente esta energía es totalmente limpia, pero los elementos de construcción del panel se pueden generar consecuencias negativas como deterioro o rompimiento de los módulos, conductores en mal estado y que puedan estar en contacto con el agua o por accidentes naturales que no pueden ser controlado por los seres humanos.

5.4.5 Flora o fauna

No establecer acometidas áreas o subterráneas en vegetaciones debido que pueden ser propenso a incendios forestales y dañan el hábitat de las aves.

5.4.6 Paisaje

El diseño del paisaje es la estética que no se debe dejar pasar por alto que es configurado por las características del lugar y naturales. También existen áreas verdes que dan otro aspecto de arquitectónico considerando elementos estratégicos de diseño.

5.4.7 Ruidos

Los paneles fotovoltaicos son totalmente silencioso comparados a las diferentes fuentes de energía renovable como: hidráulica, eólica y térmica.

5.4.8 Medio social

Al instalar un panel fotovoltaico para generar una fuente de energía en un hogar, edificio, centro comercial va referenciado con el costo del equipo y el cliente está en la condición económica para adquirirlo, ya que a largo plazo tendrá un beneficio muy rentable.

PARTE II APORTACIONES

CAPÍTULO 6

ELECTRIFICACIÓN DE LOS PANELES FOTOVOLTAICO AUTÓNOMOS

6.1 Introducción

La utilización de sistemas fotovoltaicos, y otros sistemas basados en fuentes de energía renovables, para la generación eléctrica se visualiza como una alternativa de gran importancia en la actualidad. Este tipo de sistemas se asocian generalmente con sus ventajas ambientales, como la disminución en las emisiones de CO₂ y otros contaminantes perjudiciales para la atmósfera derivados de la generación eléctrica a partir de combustibles fósiles.

Una aplicación alternativa igualmente ventajosa de estas tecnologías, conjuga los beneficios para el medioambiente con el desarrollo rural y la posibilidad del acceso a electricidad de personas que actualmente no disponen de ella.

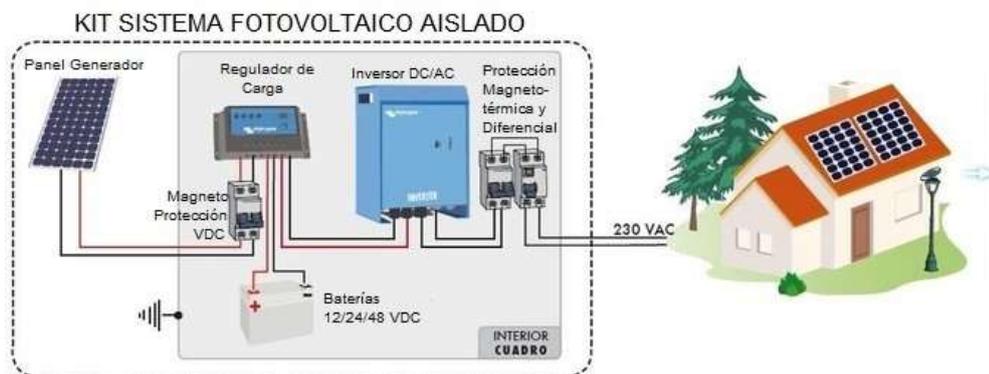


Figura 6. 1 Sistema fotovoltaico o autónomo.
Fuente: Ingemecánica (2010)

Incluso el uso de los sistemas fotovoltaicos en este tipo de aplicaciones aisladas de la red permite aprovechar algunas de las características más ventajosas de estos, como lo son la disponibilidad de una fuente de energía limpia, gratuita y libre;

además de la flexibilidad, modularidad y amplia autonomía que brinda este tipo de instalaciones.

La mayoría de los sistemas solares domésticos en la actualidad son de baja potencia, diseñados generalmente para suplir las necesidades básicas de una sola vivienda o de un grupo reducido de estas. En ese caso se trata de instalaciones en continua normalmente a 12/24V y con un valor típico de 50Wp de generador. El rango puede variar entre los 10-100Wp aproximadamente, dependiendo del tipo de instalación, la cantidad de usuarios y sus hábitos de consumo, así como de la planificación y financiación del proyecto.

La calidad de un sistema fotovoltaico autónomo en particular depende de elementos como la confiabilidad, comportamiento energético, seguridad, fácil manipulación, y simplicidad en la instalación y mantenimiento.

6.2 Estimación de la demanda de una vivienda

En la tabla 6.1 se muestran los datos eléctricos sobre los tipos y cantidad de cargas conectadas en la vivienda, su potencia promedio, la potencia total del sistema y el consumo eléctrico diario aproximado calculado en base a una estimación de las horas de uso promedio de cada una de los aparatos.

Tabla 6. 1 *Consumo estimado de una vivienda Rural.*

ITEM	CARGA	CANTIDAD	POTENCIA PROMEDIO (W)	POTENCIA TOTAL (W)	HORAS DIARIA(H)	ENERGIA (KW-H)
1	Lamparas	3	125	375	6	2.25
2	Televisor de 21"	2	171	342	8	2.74
3	Nevera de 11 pies	1	212	212	12	2.54
4	Computador de escritorio	1	662	662	8	5.30
Consumo Total						12.83

Fuente: Autor

A partir del consumo energético teórico E_t (W-h), deberemos calcular el consumo energético real E (w-h), necesario para hacer frente a los múltiples factores de pérdidas que van a existir en la instalación fotovoltaica, del siguiente modo:

$$E = \frac{E_t}{R}$$

Donde;

$$R = (1 - K_b - K_c - K_v) * \left[\frac{1 - K_a * N}{P_d} \right] \quad (6.2)$$

R= Es el parámetro de rendimiento global de la instalación fotovoltaica.

Los factores de la ecuación 6.2 son:

Kb: Coeficiente de pérdidas por rendimiento del acumulador:

0,05 en sistemas que no demanden descargas intensas.

0,1 en sistemas con descargas profundas.

Kc: Coeficiente de pérdidas en el convertidor:

0,05 para convertidores senoidales puros, trabajando en régimen óptimo.

0,1 en otras condiciones de trabajo, lejos del óptimo.

Kv: Coeficiente de pérdidas varias:

Agrupas otras perdidas como (rendimiento de red, efectos Joule,)

0,05 – 0,15 como valores de referencia.

Ka: Coeficiente de autodescarga diario:

0,002 para baterías de baja autodescarga Ni-Cd.

0,005 para baterías estacionarias de Pb-ácido (las más habituales).

0,012 para baterías de alta autodescarga (arranque de automóviles)

N: Número de días de autonomía de la instalación:

Serán los días que la instalación deba operar bajo una irradiación mínima (días nublados continuos), en los cuales se va a consumir más energía de la que el sistema fotovoltaico va a ser capaz de general. 4 – 10 días como valores de referencia.

Pd: Profundidad de descarga diaria de la batería:

Esta profundidad de descarga no excederá el 80% (referida a la capacidad nominal del acumulador), ya que la eficiencia decrece en gran medida con ciclos de carga – descargas muy profundas.

El valor del rendimiento de la instalación fotovoltaica es:

$$R = (1 - 0.1 - 0.05 - 0.1) * \left[\frac{1 - 0.005 * 4}{0.07} \right]$$

$$R = 0.728$$

El consumo energético real es

$$E = \frac{12.83}{0.728} = 17.62 \text{ kw/h}$$

Una vez definida la utilidad energética real E (W-h), se puede obtener fácilmente la capacidad del banco de baterías C (A-h) necesario, del siguiente modo:

$$C = E * N$$

$$C = 17.62 * 4 = 70.48 \text{ A/h}$$

$$T = 70.48 * 0.7 = 49.33$$

Donde la tensión nominal del acumulador es de 49.33 V, con un banco de 5 baterías de 12 Vdc.

6.3 Irradiación solar media en superficie inclinada

Considerado que los paneles se disponen en orientación sur con una inclinación de 40°. Se ha considerado unas pequeñas pérdidas por sombreado al atardecer (0,2% anual). Los resultados mensuales medios se recogen en la siguiente tabla.

Tabla 6. 2 *Irradiación solar diaria media, H (KWh/m²x día).*

MES	Enero	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Julio	Agosto	Sept	Oct	Nov	Dic	MEDIA
H	2.741	3.57 2	4.99 7	5.02 6	5.53 2	5.903	6.12 4	5.96 1	5.56 0	4.33 2	2.98 2	2.25 7	4.587

Fuente: Académico (2010).

Ahora es necesario introducir un concepto muy importante, las horas de pico solar HPS (h), definido como las horas luz solar equivalentes, pero definidas en base a una irradiancia constante de 1 Kw/m², a la cual está siempre medida la potencia de los paneles solares. Es un modo de estandarizar la curva diaria de irradiancia solar.

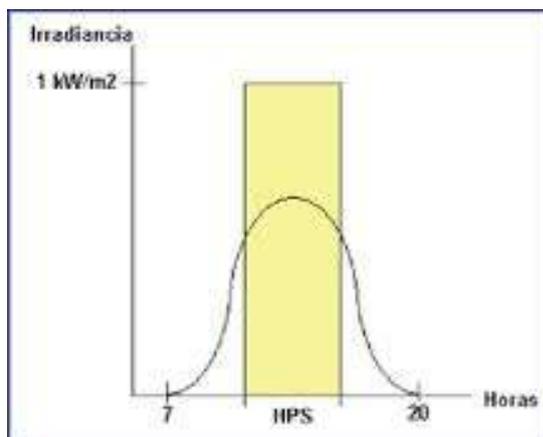


Figura 6. 2 Consumo horas pico solar.
Fuente: Panel Solar (2010).

La irradiación H (kwh/m^2) es igual al producto de la irradiancia de referencia I por las horas pico solar HPS (h). Luego entonces los valores numéricos de la irradiación y horas pico solar son iguales.

$$H(kwh/m^2) = I(1Kw/m^2) * HPS$$

Tabla 6. 3 Horas de pico solar, $HPS(h)$

MES	Enero	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Julio	Agosto	Sept	Oct	Nov	Dic	MEDIA
HPS	2.741	3.57	4.99	5.02	5.53	5.903	6.12	5.96	5.56	4.33	2.98	2.25	4.587
		2	7	6	2		4	1	0	2	2	7	

Fuente: Académico (2010).

Los paneles solares producen una energía eléctrica durante todo el día equivalente a sólo la hora de pico solar operando a su máxima potencia. Esa máxima potencia es el principal parámetro que define un panel solar y es uno de los principales parámetros de diseño que el proyectista definir.

En el mercado hay paneles solares de diversas potencias máximas: 5, 30, 50, 75, 100, 150, 165, 200, (W), etc.; según la demanda de energía que se estime.

Así mismo hay paneles de diversas calidades, según las celdas cristalinas de silicio semiconductor de las que están formados, sean monocristalinos (mejor calidad), policristalinos (menos calidad) o amorfas (poca calidad).

En este caso se elegirán paneles fotovoltaicos ES-A-200-FA3, de 200 de potencia máxima (pico) y 22,60 V nominales de tensión, formadas por celdas monocristalinos (36 en serie y 2 en paralelo).

El número de paneles solares NP necesarios se calcula de la siguiente manera:

$$NP = \frac{E}{0.9 * WP * HPS}$$

Donde Wp (W) es la potencia pico de cada panel solar (200 Watts).

$$NP = \frac{17.62 \text{ kw}}{0.9 * 200 * 4.587} = 22 \text{ paneles}$$

6.4 Cálculo del regulador

Una vez definido el generador fotovoltaico, debemos calcular el regulador de carga necesaria, para ello simplemente multiplicaremos la intensidad de cortocircuito de cada panel, obtenida del catálogo, por el número de paneles en paralelo necesarios. Ese producto será la máxima intensidad nominal a la que trabajará el regulador.

Imax (A):

$$Imax = 11,80 \times 22 = 259,6 \text{ A}$$

Emplearemos once reguladores de 24 A en paralelo (cada uno actuando sobre 22 paneles).

6.5 Cálculo del inversor

Como la potencia total necesaria para abastecer las cargas es cercana a los 13 kW, será suficiente con conectar 3 inversores cargadores de 3000 W - 48 V.

CAPÍTULO 7

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1 Conclusiones

- La energía solar es una fuente de energía renovable que al transcurrir los años va ir creciendo, lo que reemplazará la energía que utiliza los combustibles fósiles y derivados del petróleo.

- La determinación del ángulo de inclinación óptimo dependerá de la ubicación geográfica donde vaya ubicada la central fotovoltaica, además se procurará que la adaptación al cambio climático sea la más adecuada en las etapas de invierno y verano o todo el año.

- Con la implantación de los paneles fotovoltaicos se ha demostrado que se disminuirá el impacto ambiental, conservando los recursos naturales que son de gran utilización para el ahorro energético del país y que incidirá en el mejoramiento de la calidad de vida de los habitantes.

- Los sistemas fotovoltaicos autónomos tienen una amplia flexibilidad y aplicación para ser conectados con la red eléctrica convencional, para satisfacer la demanda del sistema con energía renovable que es económica.

7.2 Recomendaciones

- Es importante difundir entre la ciudadanía la ejecución de nuevos proyectos fotovoltaicos para incentivar el uso de la energía renovable en los hogares, edificios, vehículos, embarcaciones dejando así de consumir combustibles fósiles que producen un grave impacto ambiental.

- Al instalar un sistema fotovoltaico se debe cumplir normas internacionales IEC-61215 y civiles que garanticen la seguridad adecuada de las personas y equipos, lo que llevaría a cumplir un excelente funcionamiento de panel fotovoltaico.

- Se debe cumplir un plan de mantenimiento de la instalación y el control más constante del regulador que está conectado directamente con la batería debida que emiten gases tóxicos químicos y evitar posibles accidentes de manipulación de estos.

BIBLIOGRAFÍA

- America Do Sol.* (s.f.). Recuperado el Febrero de 2015, de http://www.americadosol.org/es/disseleneto_de_cobre_indio/
- Cabrero, F. C. (2015). *Tesis de Grado*. Recuperado el Sabado 21 de Febrero de 2015, de http://e-archivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/13675/PFC_Felix_Checa_Cabrero.pdf?sequence=1
- Calculationsolar. (s.f.). *Calculo Instalacion Fotovoltaica Aislada de la red*. Recuperado el Domingo de Febrero de 2015, de <http://calculationsolar.com/blog/?m=201212>
- Cálculos Instalacion Fotovoltaica.* (s.f.). Recuperado el Domingo de Febrero de 2015, de <http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/4183/fichero/2.-+anexo+calculo%252F6.-+Calc+instalac+fotovoltaica+I.pdf>
- Canarias, G. d. (s.f.). *GUIA TÉCNICA DE APLICACIÓN PARA INSTALACIONES DE ENERGÍAS RENOVABLES*. Recuperado el Sabado de Enero de 2015, de http://www.agenergia.org/files/resourcesmodule/@random49914e4ed9045/1234263307_GuiaFotovoltaicaGobCan.pdf
- Construmática. (Domingo 25 de Enero de 2015). Obtenido de http://www.construmatica.com/construpedia/Radiaci%C3%B3n_Solar
- Diodos de protección fotovoltaica.* (s.f.). Recuperado el Domingo 22 de Febrero de 2015, de <http://www.energifotovoltaica.ws/instalacion/diodos-proteccion-fotovoltaica.html>
- Ecuared. (Domingo 25 de Enero de 2015). Obtenido de http://www.ecured.cu/index.php/Factores_clim%C3%A1ticos

Ehowespañol. (s.f.). Recuperado el Sabado de Enero de 2015, de
http://www.ehowenespanol.com/son-baterias-gel-info_313646/

El Panel Fotovoltaico. (s.f.). Recuperado el 28 de Febrero de 2015, de
http://www.ujaen.es/investiga/solar/07cursosolar/home_main_frame/04_componen/01_generador/01_basico/4_gene_01.htm

elcomercio.com. (s.f.). *elcomercio.com*. Recuperado el Lunes de Febrero de 2015, de
<http://edicionimpresa.elcomercio.com/es/140100007c4201ac-67b6-4b30-8006-a237b1031472>

Energia Fotovoltaica . (s.f.). Recuperado el 28 de Febrero de 2015, de
<http://www.energifotovoltaica.ws/celdas/celulas-fotovoltaicas-silicio-amorfo.html>

Energia Geotermica. (s.f.). Recuperado el Viernes 13 de Febrero de 2015, de
https://iesvillalbahervastecnologia.files.wordpress.com/2011/12/11_0_fuentes-de-energic3ada-energia-geotc3a9rmica.pdf

Finder. (Septiembre de 2011).
http://www.findernet.com/sites/all/files/user_70/ar_wp_energias__renovables.pdf. Recuperado el Domingo de Enero de 2015

Fondear. (2014). Recuperado el Jueves de Enero de 2015, de
http://www.fondear.org/infonautic/equipo_y_usos/Electricidad_Energia/ControladorCarga/ControladorCarga.htm

Garcia, M. d. (s.f.). *El generador fotovoltaico*. Recuperado el Sabado 14 de Febrero de 2015, de
http://api.eoi.es/api_v1_dev.php/fedora/asset/eoi:45315/componente45313.pdf

Gonzalez, H. D. (s.f.). *Diseño de un sistema fotovoltaico para la generacion de energia electrica*. Recuperado el 11 de Febrero de 2015, de <http://148.226.12.104/bitstream/123456789/31561/1/dominguezgonzalezhector.pdf>

Gonzalez, Hector Dominguez. (22 Noviembre 2012). *Diseño de un sistema fotovoltaico para la generación de energía eléctrica en el COBAEV 35 XALAPA*. Obtenido de <http://148.226.12.104/bitstream/123456789/31561/1/dominguezgonzalezhector.pdf>

Guia técnica de aplicación para instalacion de energias renovables. (s.f.). Recuperado el Jueves de Febrero de 2015, de http://www.agenergia.org/files/resourcesmodule/@random49914e4ed9045/1234263307_GuiaFotovoltaicaGobCan.pdf

infoenergiasolar. (s.f.). <http://infoenergiasolar.com/inversor-de-paneles-solares>. Recuperado el Viernes de Enero de 2015

Inversión para Proyectos Estratégicos. (s.f.). Recuperado el Febrero de 2015, de http://www.invec.ec/archivos/menu_6/catalogosdeinversionparaprojectosestrategicos.pdf

mgallegosantos. (s.f.). Recuperado el Sabado de Enero de 2015, de <https://mgallegosantos.files.wordpress.com/2009/01/baterias.pdf>

Ministerio de Energia CIFES. (s.f.). Obtenido de <http://cifes.gob.cl/tecnologias/solar/fotovoltaica-pv/silicio-amorfo-a-si/>

- Opexenergy. (s.f.). *http://opex-energy.com/fotovoltaica/mantenimiento_fotovoltaico.html*. Recuperado el Sabado 31 de Enero de 2015
- proyectopv.org. (s.f.). *La pagina de la vida*. Recuperado el Sabado de Febrero de 2015, de <http://www.proyectopv.org/2-verdad/energiamarem.htm>
- Renovaenergia. (s.f.). Recuperado el Jueves 29 de Enero de 2015, de http://www.renova-energia.com/productos_reguladores/index.html
- Sebastian, E. (s.f.). *Consultor en Gestion de Medio Ambiente*. Recuperado el Febrero de 2015, de <http://eliseosebastian.com/elementos-de-un-panel-solar-fotovoltaico/>
- Sitiosolar.com. (s.f.). Recuperado el Lunes 26 de Enero de 2015, de <http://www.sitiosolar.com/los-paneles-solares-fotovoltaicos/>
- Tecnoficio. (s.f.). Obtenido de http://www.tecnoficio.com/electricidad/inversores_de_potencia_1.php

ANEXOS

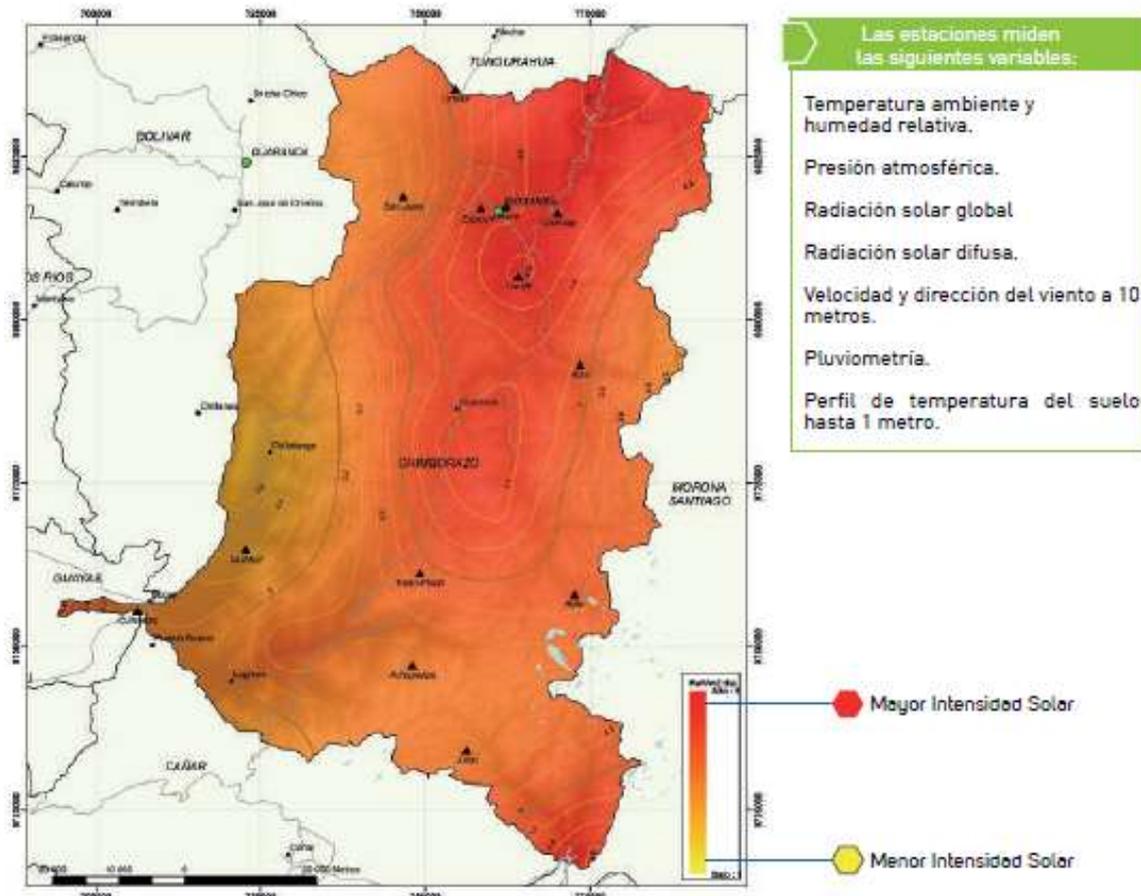
ANEXO 1

PERFIL OCUPACIONAL INSTALADOR DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

REALIZAR MANTENCIÓN DE SISTEMA FOTOVOLTAICO	Código: UCF- SSF- 003	Vigencia: Marzo 2016
1. Realizar mantenimiento preventivo de sistema fotovoltaico	2. Realizar mantenimiento correctivo de sistema fotovoltaico	
Criterios de Desempeño:	Criterios de Desempeño:	
1.1 Identifica acciones a seguir, examinado planos, normas y especificaciones técnicas para el óptimo funcionamiento del sistema dentro de los parámetros establecidos, analizando reportes de mantenimientos anteriores (cuando corresponda) determinando acciones y recursos requeridos para el proceso de mantenimiento, cumpliendo con los requisitos reglamentados, condiciones de calidad y de seguridad establecidas.	2.1 Identifica acciones a seguir, examinado planos, normas y especificaciones técnicas, analizando reportes de mantenimientos anteriores (cuando corresponda) determinando acciones y recursos requeridos para el proceso de mantenimiento, cumpliendo con los requisitos reglamentados, condiciones de calidad y de seguridad establecidas.	
1.2 Realiza mediciones del sistema y parámetros de operación, comparando con las especificaciones técnicas y evaluando condiciones de funcionamiento, de acuerdo a los parámetros establecidos, requisitos reglamentados, condiciones de calidad y de seguridad.	2.2 Diagnostica avería, detectando, analizando y cuantificando los elementos en mal estado, según manuales de instrucciones, planos y de acuerdo a criterios técnicos de calidad y seguridad establecidos.	
1.3 Inspecciona visualmente instalación del sistema, chequeando sistema de montaje, ventilación, pasada o tendido de cable y conexiones, de acuerdo a los parámetros establecidos, requisitos reglamentados, condiciones de calidad y de seguridad.	2.3 Bloquea equipo a intervenir (cuando corresponde), desconectando conexiones, inversor y tablero, chequeando la total desconexión de los componentes eléctricos, verificando energía cero y su correspondiente aislamiento, según procedimientos de la empresa y recomendaciones del fabricante.	
1.4 Chequea instalaciones del soporte, comprobando óptima integridad estructural y revisando impermeabilizaciones (cuando corresponda), de acuerdo a los parámetros establecidos, requisitos reglamentados, condiciones de calidad y de seguridad.	2.4 Repara y/o reemplaza componentes del equipo, dependiendo del nivel de desgaste y/o daño que presenten las piezas de éste, ocupando las herramientas designadas, siguiendo la secuencia del proceso de montaje estructural y eléctrico establecido, de acuerdo a parámetros definidos, normativa vigente, condiciones de calidad y de seguridad y especificaciones técnicas del fabricante.	
1.5 Chequea instalaciones eléctricas, verificando las conexiones eléctricas, estado del cableado, puesta a tierra e integridad de los terminales eléctricos, de acuerdo a los parámetros establecidos, requisitos reglamentados, condiciones de calidad y de seguridad.	2.5 Asegura correcto funcionamiento del equipo, efectuando pruebas de verificación y sometiéndolo a ensayos de funcionalidad, según especificaciones del fabricante y procedimientos de la empresa.	
1.6 Realiza maniobras de mantenimiento, ejecutando operaciones de limpieza (módulos, filtros, etc), reapriete de bornes, comprobación del estado de la conexión a tierra, estado de terminales, según especificaciones técnicas del fabricante, requisitos reglamentados, condiciones de calidad y de seguridad.	2.6 Coordina con quién corresponda entrega y puesta en marcha de equipo, llenando pauta de trabajo, informando resultados obtenidos y reportando reparaciones, según especificaciones del fabricante y procedimientos de la empresa.	

ANEXO 2

EJEMPLO DE MAPA DE RADIACIÓN SOLAR



Signos Convencionales	
▲ Estaciones meteorológicas	— Vías principales
● Capitales provinciales	— Isoteña principal
● Centros poblados	— Isoteña secundaria
	■ Cuerpos de agua
	□ Límite provincial

 MAPA DE RADIACIÓN GLOBAL MES: ENERO (Kwh/m² día)		
Proyecto: Métodos para el control de calidad y complementación de datos faltantes en parámetros meteorológicos		
Fuente de información base: Información Cartográfica base generada por el Instituto Geográfico Militar Proy. Carta Nacional escala 1:60000 año 2010	Fuente de información temática: Instituto Nacional de Electricidad y Energías Renovables Año 2014	
Sistema de coordenadas: Proyección Universal Transversa de Mercator Datum Horizontal: WGS84 Zona: 17S Datum Vertical: Nivel Medio del Mar Estación Mareográfica La Libertad Prov. Santa Elena		Escala de información: 1:50.000 Escala de trabajo: 1:400.000
Elaborado por: Ing. Geovanna Vilacreses	Lámina: 1/12	Año: 2014

ANEXO 3

Para instalaciones donde no haya suministro eléctrico

GPF 1210

Especialmente indicado para el uso del tornillo GTV4-1S, en instalaciones donde no haya suministro eléctrico.

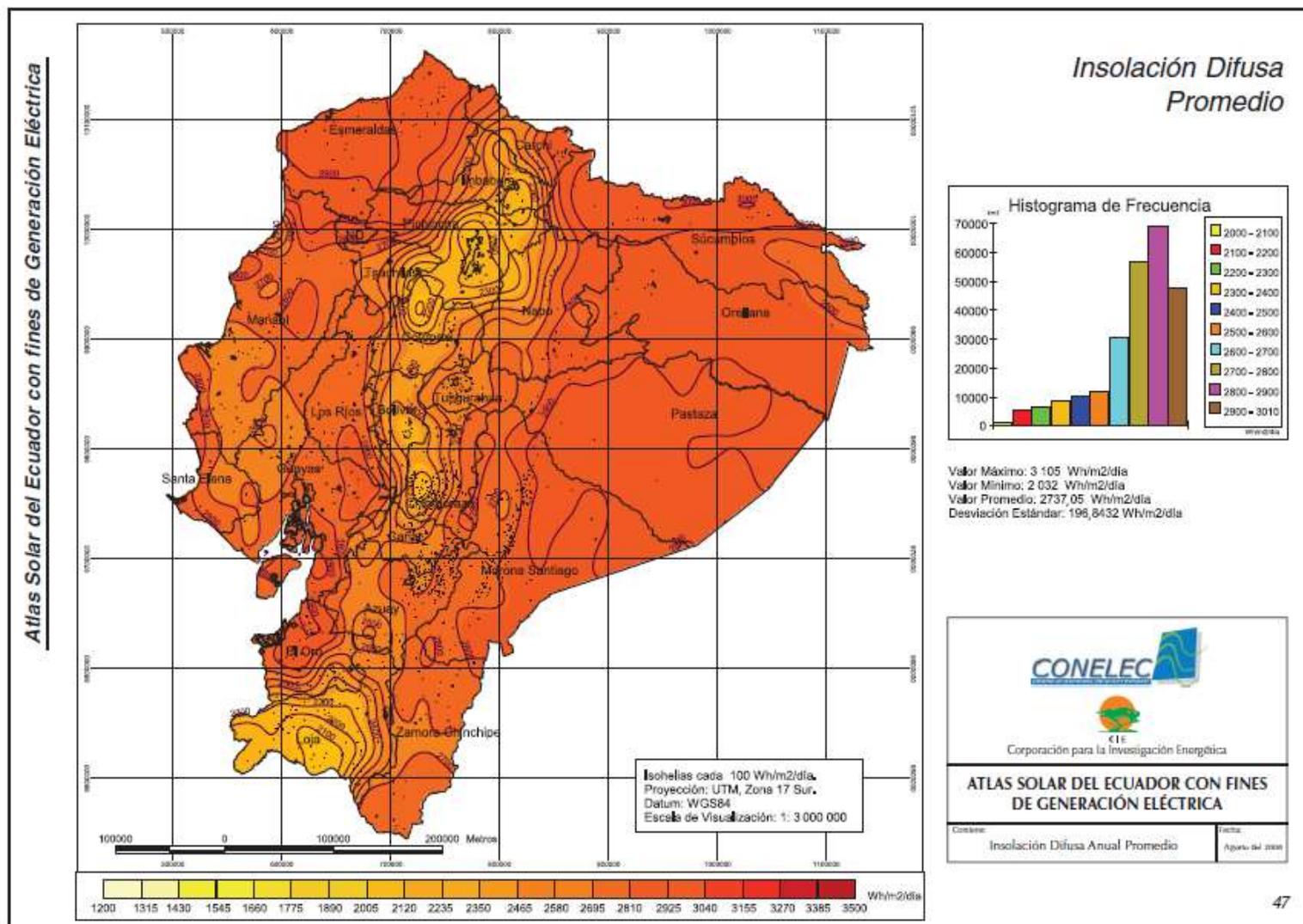
- Panel 100 W.
- Dimensiones en: 1060 x 669 mm.
- Peso: 8,5 kg.
- Tipo de célula: policristalino.
- La potencia máxima (Pmax): 100 W.
- Corriente máxima: 5,56 A.
- Tensión en circuito abierto 21,7 V.
- Corriente del cortocircuito: 6,01 A.
- Módulo de la eficiencia: 15,5%.
- Temperatura de trabajo -40° / 85° .
- Tensión máxima del sistema: 1000 V.
- Caja de conexión con conectores MC4.

Empresa: Ger, S.A. - Gestiones Estudios y Realizaciones, S.A.



ANEXO 5

Insolación Difusa Promedio



ANEXO 6

Panel Fotovoltaico Serie ES-A200-FA3

ES-A SERIES

photovoltaic panels



200, 205 & 210 W



Made in the USA

MORE electricity

Our ES-A series panels have the best power tolerance in the industry (-0/+5 W) and consistently deliver more electricity than competitors in field tests.

LESS impact

String Ribbon™ panels have the smallest carbon footprint and fastest energy payback of any silicon-based solar panel ever made.

GUARANTEED POWER¹
The minimum guaranteed power is the nameplate so you never get less power than you paid for.

INDEPENDENTLY VERIFIED POWER²
Four independent test labs regularly check panel power so you get the power we promise.

ANTI-REFLECTIVE GLASS
Delivering 2-3% more electricity compared to panels with standard glass.

TEMPERATURE RATINGS OVER 90%²
Maintaining up to 4% higher output than most other crystalline silicon panels under hot conditions.

HIGH RANKINGS IN FIELD TESTS¹
Long-term Photon and TÜV field tests prove Evergreen panels produce more electricity (kWh/W).



SMALLEST CARBON FOOTPRINT³
Our String Ribbon™ wafers are made with a fraction of the emissions that result from making conventional silicon panels.

12-MONTH ENERGY PAYBACK¹
Our panels begin generating truly clean electricity faster than any other silicon-based panel on the market.

100% CARDBOARD-FREE REUSABLE PACKAGING
Reduces disposal costs and on-site manpower while eliminating tons of landfill.

LEAD-FREE SOLAR CELLS
Our panels make clean electricity and the way we make them is clean too.

¹ Guaranteed upon initial delivery of the panel to the customer, minimum power up to 400 W above nameplate rating; ² Evergreen power factors collected by taking the straight average of test data from NREL, TÜV Rheinland PTL, TÜV Rheinland Cologne and Fraunhofer ISE; ³ Based on comparing PTC/STC ratings of major competing multi-crystalline silicon panel brands published by the California Energy Commission in May 2009; 4 2009 Module Tests conducted by Photon and published in Photon International February 2009; TÜV Rheinland tests run from April to September 2008

³ Evaluation completed by the Energy Research Foundation of the Netherlands (ERF), May 2008

STRING RIBBON™ SOLAR PANELS OFFERING EXCEPTIONAL PERFORMANCE AND INDUSTRY-LEADING ENVIRONMENTAL CREDENTIALS. IN SHORT, MORE ELECTRICITY AND LESS IMPACT.

All Evergreen panels come with a 5 year workmanship and 25 year limited power warranty. For full details see the Evergreen Solar Limited Warranty available upon request or online. This product is certified to UL 1703, UL 4703, UL Fire Safety Class C, IEC 61215 Ed.3, IEC 61730 Class A, FCC and KTL standards. String Ribbon is a trademark of Evergreen Solar, Inc. Evergreen Solar's wafer manufacturing technology is patented in the United States and other countries. Copyright © Evergreen Solar, Inc. 2009.





