



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

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

TEMA:

**Diseño eléctrico de una vivienda con paneles solares utilizando microinversores,
conectados a la red mediante un medidor bidireccional.**

AUTOR:

Erazo Mera, Bruno Emmanuel

Trabajo De Titulación previo a la obtención del título de

**INGENIERO EN ELÉCTRICO MECÁNICA CON MENCIÓN EN GESTIÓN
EMPRESARIAL INDUSTRIAL**

TUTOR:

Ing. Hidalgo Aguilar, Jaime Rafael

Guayaquil, Ecuador

19 de Septiembre del 2017



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO

CARRERA DE INGENIERÍA EN ELÉCTRICO-MECÁNICA CON MENCIÓN EN
GESTIÓN EMPRESARIAL INDUSTRIAL

CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente trabajo fue realizado en su totalidad por el Sr. **ERAZO MERA, BRUNO EMMANUEL**, como requerimiento parcial para la obtención del Título de **Ingeniería en Eléctrico Mecánica con Mención en Gestión Empresarial Industrial**.

TUTOR

Ing. Jaime Rafael Hidalgo Aguilar

DIRECTOR DE LA CARRERA

Ing. Miguel Armando Heras Sánchez, M. Sc.

Guayaquil, 19 de Septiembre del año 2017



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

**FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELÉCTRICO-MECÁNICA**

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Yo, Bruno Emmanuel, Erazo Mera

DECLARO QUE:

El Trabajo de Titulación “**Diseño eléctrico de una vivienda con paneles solares utilizando microinversores, conectados a la red mediante un medidor bidireccional**” previa a la obtención del Título de Ingeniería en Eléctrico Mecánica, 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 las referencias o bibliografías. 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, a los 19 días del mes de Septiembre del año 2017

EL AUTOR

ERAZO MERA, BRUNO EMMANUEL



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

**FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELÉCTRICO-MECÁNICA**

AUTORIZACIÓN

Yo, ERAZO MERA, BRUNO EMMANUEL

Autorizo a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, la publicación en la biblioteca de la institución del Trabajo de Titulación: **“Diseño eléctrico de una vivienda con paneles solares utilizando microinversores, conectados a la red mediante un medidor bidireccional”**, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y total autoría.

Guayaquil, a los 19 días del mes de Septiembre del año 2017

EL AUTOR

ERAZO MERA, BRUNO EMMANUEL

REPORTE URKUND

Datos

Documento: Trabajo de Titulación
Título del Trabajo: “DISEÑO ELÉCTRICO DE UNA VIVIENDA CON PANELES SOLARES UTILIZANDO MICROINVERSORES, CONECTADOS A LA RED MEDIANTE UN MEDIDOR BIDIRECCIONAL”.
Carrera: Ingeniería en Eléctrico Mecánica
Estudiante: BRUNO EMMANUEL ERAZO MERA
Semestre: A-2017
Fecha: AGO/2017

Reporte Final URKUND

The screenshot displays the URKUND software interface. The top section shows document metadata: 'Documento: Tesis Bruno Erazo.pdf (D30233571)', 'Presentado: 2017-08-24 09:51 (-05:00)', 'Presentado por: orlandophilco_7@hotmail.com', 'Recibido: orlando.philco.ucsg@analysis.urkund.com', and 'Mensaje: Fwd: Pdf- tesis finalizada Sr. Bruno Erazo'. A 'Lista de fuentes' (Source List) on the right shows a table with columns for 'Bloques' and percentages: 39%, 71%, and 92%. Below this, a technical report snippet is visible, discussing the 'Factor de irradiación' (irradiation factor) and its relationship to panel orientation and inclination. The text includes mathematical expressions for optimal inclination and distance between rows of photovoltaic modules. The bottom of the screenshot shows a Windows taskbar with several open PDF files and a system clock indicating 21:53 on 24/08/2017.

Conclusión: la revisión de coincidencias del resultado de la revisión, considera la desactivación de la información de texto de los formatos de presentación de trabajos de titulación en la UCSG. Se adjunta documento de Reporte URKUND de la Revisión Final en medio digital. Final en medio digital. Porcentaje de coincidencia final del 2%.

Ing. Jaime Rafael Hidalgo Aguilar
DOCENTE-TUTOR

AGRADECIMIENTO

Este trabajo de titulación es dedicado a mis docentes de la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil que durante el inicio de mi etapa universitaria han estado presente en los momentos más importantes de mi formación profesional con una buena relación maestro-alumno, siempre instruyéndome, aconsejándome y exigiéndome como excelentes educadores, y profesionales en sus respectivas áreas de la ingeniería; así mismo, enseñando como desenvolverse en el campo profesional. Destaco por su labor al Ing. Rafael Hidalgo, Celso Bayardo Bohorquez Escobar, Eco. Jorge Carrillo, Raúl Montenegro, Pedro Tutiven, Hugo Lucero, Armando Heras, Luis Vallejo y demás docentes en general.

También a mis amistades, ya que nos apoyamos mutuamente para lograr esta importante etapa de nuestra vida.

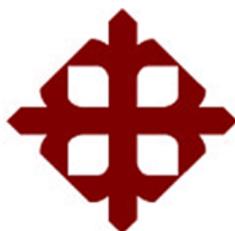
ERAZO MERA, BRUNO EMMANUEL

DEDICATORIA

Todo mi trabajo de titulación se lo dedico primordialmente a Dios, y a la Virgen María, por darme vida, salud y su amor para seguir adelante en mi vida; también, en especial a mi educador en la vida espiritual, el Padre Alfonso Avilés.

A mi familia, en especial al esfuerzo de mis padres, Ing. Johnny Erazo Oviedo y Marcia Mera de Erazo, que me han apoyado en todo infinitamente, ya que su amor me ha hecho un hombre de bien y exitoso. A mis abuelitas queridas Amelia Carrasco y Julia Oviedo quienes me cuidaron mucho. A mi hermano Ing. Johnny Erazo, por estar ayudándome con sus conocimientos en este trabajo, y a mi hermana Dra. Johanna Erazo de Crespo, por exigirme siempre dar mi máximo esfuerzo en cualquier reto de mi vida.

ERAZO MERA, BRUNO EMMANUEL



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO

CARRERA:

Ingeniería en Eléctrico-Mecánica con Mención en Gestión Empresarial Industrial

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

f. _____
ING. HERAS SÁNCHEZ, MIGUEL ARMANDO, M.Sc.
DIRECTOR DE CARRERA

f. _____
ING. MONTENEGRO TEJADA, RAÚL, M.Sc.
COORDINADOR DE ÁREA

f. _____
ING. VALLEJO SAMANIEGO, LUIS VICENTE, M.Sc.
OPONENTE

Índice General

ÍNDICE DE FIGURAS	XII
ÍNDICE DE TABLAS	XV
RESUMEN.....	XVI
ABSTRACT.....	XVII
CAPÍTULO 1	2
ASPECTOS GENERALES	2
1.1 Introducción	2
1.2 Planteamiento del problema.....	3
1.3 Justificación.....	3
1.4 Objetivos	4
1.4.1 Objetivo General	4
1.4.2 Objetivos Específicos.....	4
1.5 Metodología de la investigación	5
1.6 Hipótesis.....	5
PARTE I MARCO TEÓRICO.....	7
CAPÍTULO 2	7
FUNDAMENTOS DE LA ENERGÍA SOLAR	7
2.1 Historia de La Energía Solar	7
2.2 Tipos de Energía Solar	9
2.2.1 Energía Solar Térmica	9
2.2.2 Energía Solar Fotovoltaica.....	11
2.2.3 Energía Solar Termoeléctrica.....	13
2.3 Tipos de Energías Renovables	15
2.3.1 Hidráulica.....	16
2.3.2 Eólica.....	17
2.3.3 Biomasa.....	19
2.3.4 Geotérmica.....	20

2.3.5 Mareomotriz	22
CAPÍTULO 3	24
RADIACIÓN SOLAR Y ORIENTACIÓN DE LOS PANELES FOTOVOLTAICOS	24
3.1 Radiación Solar	24
3.2 Radiación Solar sobre una Superficie	25
3.3 Clasificación de la radiación solar	27
3.3.1. Radiación directa.....	27
3.3.2. Radiación difusa.....	27
3.3.3. Radiación reflejada o albedo	27
3.4 Factor AM (Masa de Aire).....	28
3.5 Radiación Solar sobre una Superficie Inclinada	28
3.6 Factor de Irradiación	29
3.7 Distancia Óptima entre filas de cada Arreglo de Módulos Fotovoltaicos	30
3.8 Ángulo de Inclinación de los Módulos Fotovoltaicos.....	31
3.9 Trayectorias Solares	32
CAPÍTULO 4	36
DESCRIPCIÓN DEL SSFV CON MICROINVERSORES	36
4.1 Sistema Solar Fotovoltaico SSFV	36
4.2 Módulos Fotovoltaicos.....	36
4.2.1. Recubrimiento Exterior.....	37
4.2.2. Material Encapsulante	37
4.2.3. Recubrimiento Posterior.....	38
4.2.4. Conexiones Eléctricas	38
4.2.5. Marco Metálico	38
4.2.6. Características eléctricas del módulo fotovoltaico.....	39
4.2.7. Diodos de bloqueo y By pass	40
4.3 Células Solares	41
4.3.1. Silicio Monocristalino	41
4.3.2. Silicio Policristalino	42
4.3.3. Silicio Amorfo.....	42

4.4 Envoy	44
4.5 Microinversor	44
4.6. Elementos Secundarios del Sistema Fotovoltaico SSFV	47
4.6.1. Enlighten Enphase.....	47
4.6.2. Toolkit Enphase	48
4.6.3. Cable de Enganche Enphase	49
4.6.4. Herramientas y conectores de Enphase.....	50
4.7. Dispositivos de protección del Sistema SSFV	50
CAPÍTULO 5	51
INSTALACIÓN DE LOS EQUIPOS ELÉCTRICOS EN EL SSFV	51
5.1. Instalación del microinversor en El Sistema Solar Fotovoltaico	51
5.2. Instalación del Envoy en el SSFV	58
5.3. Mantenimiento de los equipos en el SSFV	60
5.3.1 Paneles solares fotovoltaicos.....	60
5.3.2. Microinversores.....	62
PARTE II APORTACIONES	63
CAPÍTULO 6	63
DISEÑO DEL SSFV CON VENTA A LA RED SIN RESPALDO DE BATERÍAS	63
6.1. Aplicaciones de la Energía Solar Fotovoltaica	63
6.2. Medición del Funcionamiento de los Microinversores	68
6.3. Cálculo del Sistema Solar Fotovoltaico SSFV	71
6.4. Análisis Económico	74
CAPÍTULO 7	81
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	81
7.1 Conclusiones	81
7.2. Recomendaciones.....	82
BIBLIOGRAFÍA	
ANEXOS	

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 La energía del sol.....	9
Figura 2.2 Circuito abierto y cerrado de un sistema solar térmico	10
Figura 2.3 Funcionamiento de un colector solar	11
Figura 2.4 Funcionamiento de una célula fotovoltaica	12
Figura 2.5 Funcionamiento del colector solar parabólico.....	13
Figura 2.6 Funcionamiento de la Central Torre Solar.....	14
Figura 2.7 Funcionamiento del disco solar	15
Figura 2.8 Central Hidroeléctrica.....	17
Figura 2.9 Partes de un aerogenerador	18
Figura 2.10 Parque Eólico Poza de la Sal, Burgos (España)	19
Figura 2.11 Trituración de madera.....	20
Figura 2.12 Funcionamiento de una central Geotérmica	21
Figura 2.13 Funcionamiento de una Bomba de calor geotérmica.....	22
Figura 2.14 Central Mareomotriz Silwa Lake.....	23
Figura 3.1 Radiación Solar en la tierra.....	25
Figura 3.2 Tipos de Radiación Solar.....	25
Figura 3.3 Distancia entre módulos fotovoltaicos.....	30
Figura 3.4 Paralelos y Meridianos de la Tierra	32
Figura 3.5 Proyección solar en un día.....	34
Figura 4.1 Sistema Fotovoltaico usando equipos Enphase	35
Figura 4.2 Composición de un panel fotovoltaico	36
Figura 4.3 Panel Solar Fotovoltaico.....	37

Figura 4.4 Curva I-V	38
Figura 4.5 Diodos de Bloqueo	39
Figura 4.6 Diodos de By Pass	40
Figura 4.7 Efecto Fotovoltaico.....	42
Figura 4.8 Microinversor Enphase M250	45
Figura 4.9 Circuito de un Microinversor.....	46
Figura 4.10 Programa Enlighten Enphase.....	47
Figura 4.11 Aplicación de Móvil Toolkit Enphase.....	48
Figura 4.12 Cable Engage	48
Figura 5.1 Instalación de los equipos de Enphase.....	50
Figura 5.2 Instalación del cable Engage en el gabinete	51
Figura 5.3 Instalación de caja de conexiones.....	52
Figura 5.4 Instalación del microinversor Enphase	53
Figura 5.5 Conexión del microinversor a tierra	54
Figura 5.6 Arrollamiento del cable Engage en el gabinete	54
Figura 5.7 Gráfico de conexiones de los microinversores	56
Figura 6.1 Aplicaciones de sistemas aislados	62
Figura 6.2 Aplicaciones de Sistemas conectados a red.....	63
Figura 6.3 Aplicaciones de Sistemas conectados a red en CC.....	64
Figura 6.4 Aplicaciones de Sistemas conectados a red en CA	65
Figura 6.5 Venta a la red sin respaldo de baterías.....	66
Figura 6.6 Venta a la red con respaldo de baterías	67
Figura 6.7 Ubicación del sitio de la prueba.....	68
Figura 6.8 Medición de la generación en salida del microinversor M250.....	68
Figura 6.9 Cálculo del Proyecto Eléctrico Renovable Solar Fotovoltaico.....	76

Figura 6.10 Cálculo de planilla para meses de verano e invierno.....	76
Figura 6.11 Utilización del Sistema Solar SSFV para usuarios con diferentes rangos de consumo de kWh.....	77
Figura 6.12 Tarifa Residencial de la época de verano	78
Figura 6.13 Gráfica de Tarifa Residencial de consumo en la época de verano	78
Figura 6.14 Gráfica de Tarifa Residencial de consumo en la época de invierno	79
Figura 6.15 Tarifa Residencial de la época de invierno	79

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3.1 Radiación Global promedio del Ecuador	26
Tabla 3.2 Ángulo de Inclinación Máximo	32
Tabla 3.3 Meses de Verano en Ecuador	34
Tabla 4.1 Eficiencia de materiales fotovoltaicos	41
Tabla 4.2 Características Técnicas del Envoy-S	43
Tabla 4.3 Número máximo de microinversores en un circuito	44
Tabla 4.4 Conexiones de los microinversores M250 y M215	44
Tabla 4.5 Protecciones de sobrecorrientes y pararrayos	49
Tabla 5.1 Instalación del cable Engage en el gabinete	55
Tabla 5.2 Señales del LED del microinversor	56
Tabla 6.1 Curva de generación de energía eléctrica	69
Tabla 6.2 Características eléctricas del M250 de Enphase	71
Tabla 6.3 Características técnicas del M250 Enphase	71
Tabla 6.4 Líneas de alimentación del Sistema Fotovoltaico	72
Tabla 6.5 Valores de caída de voltaje y corriente	73
Tabla 6.6 Precio de los equipos del SSFV en el exterior (EEUU).....	74
Tabla 6.7 Precio Total del kit 3,5 kW en Ecuador	75
Tabla 6.8 Presupuesto del Kit 3,5 kW.....	75
Tabla 6.9 Proyecto Renovable Solar Fotovoltaico.....	75

RESUMEN

Ecuador está ubicado en el centro de la tierra, con una latitud, entre 5°S y 2°N, con una radiación solar elevada, se constituye un ambiente ideal, para la generación eléctrica con un Sistema Solar Fotovoltaico SSFV.

El país debe poner manos a la obra en la creación de proyectos que inviertan en la energía solar, ya que esta se divide en: Termoeléctrica, fotovoltaica y térmica. Este tipo de energías, son más amigables con el medio ambiente y los seres vivos.

Para el caso de la presente tesis, se calculó la carga total de una vivienda (KW) y su consumo mensual de energía eléctrica (KW-h), usando el Método de EBASCO y se diseñó un sistema SSFV con microinversores para una carga parcial del 30%, la cual se podrá conectar directamente a la red eléctrica, para un usuario que dispone de un medidor bidireccional NET-METERING.

La tesis, podrá ser implementada a nivel nacional, cuando el Ecuador, decida transformar en realidad el discurso de protección de la ecología, la huella del carbono y la disminución de la emisión de gases de efecto invernadero CO₂ y promueva incentivos económicos para la ejecución de este tipo de proyectos de generación de energía eléctrica con recursos renovables.

Palabras claves: ENERGIA ELECTRICA, CONDUCTOR, SISTEMA FOTOVOLTAICO, RADIACIÓN SOLAR, SEMICONDUCTOR, ENVOY, MICROINVERSOR.

ABSTRACT

Ecuador is located in the center of the earth, with a latitude between 5°S and 2°N, with high solar radiation, an ideal environment is created for the electric generation with a SSFV Photovoltaic Solar System.

The country must put to work in the creation of projects that invest in solar energy, since this is divided into: Thermoelectric, photovoltaic and thermal. These types of energies, are more friendly with the environment and living beings.

For the case of the present thesis, the total load of a dwelling (KW) and its monthly electric energy consumption (KW-h), using the EBASCO Method, were calculated and a SSFV system with microinverters was designed for a partial load of 30%, which can be connected directly to the power grid, for a user who has a NET-METERING bidirectional meter.

The thesis, can be implemented at the national level, when Ecuador, decide to transform the discourse of protection of the ecology, the carbon footprint and the reduction of CO₂ greenhouse gas emissions and promote economic incentives for the implementation of this type of projects of electric power generation with renewable resources.

Keywords: ELECTRICITY, CONDUCTOR, PHOTOVOLTAIC SYSTEM, SOLAR RADIATION, SEMICONDUCTOR, ENVOY, MICROINVERTERS

CAPÍTULO 1

ASPECTOS GENERALES

1.1 Introducción

La energía eléctrica es una necesidad básica para la vida humana, ya que el hombre ha podido lograr sus avances tecnológicos, económicos, sociales y culturales, y satisfacer su modo de vida; por consiguiente, los países han logrado su desarrollo económico por sus capacidades energéticas; así mismo, impulsa a que sean muy competitivos entre sí, ya que generan riquezas, comercializan y ofrecen bienes y servicios entre los mismos países. Aunque para alcanzar ese desarrollo han utilizado en demasía el petróleo, lo que ha producido efectos negativos para el medio ambiente, afectando a la capa de ozono con los gases de efecto invernadero.

Los gases contaminantes emitidos a la atmosfera, con el desarrollo de la industria, son el producto del elemento principal para la producción mundial de energía térmica, el petróleo. Este recurso energético no renovable, es el responsable de los cambios climáticos que sufre la tierra; por consiguiente, en la década de los años 1970 se toma en consideración el uso de las energías renovables; como consecuencia, del uso excesivo del petróleo para la generación de energía térmica.

Las energías renovables benefician al medio ambiente, produciendo un menor impacto ambiental; es decir, su energía es limpia por estar libre de gases efectos invernadero. Por esta razón, El Ecuador opto por la implementación de las energías renovables limpias como: energía hidráulica, energía eólica, energía solar fotovoltaica y etc.; para reducir el consumo de los derivados del petróleo ecuatoriano, que fomentan graves perjuicios en la selva de la región Amazónica; también, afectando en las ciertas partes del Ecuador continental e Insular. Nuestro país puede tener un gran futuro en las energías renovables, si implementa a mayor escala centrales eléctricas con sus diferentes tipos de energía limpia, pero para lograrlo el Estado debe invertir en ello.

Actualmente, la producción de energía eléctrica a base de derivados del petróleo, genera grandes egresos económicos al país, y un gran daño ambiental. La solución para estos problemas, es el uso de la energía renovable como la solar fotovoltaica, que utiliza una fuente inagotable y gratuita, como son los rayos solares. En definitiva, la energía solar preserva el medio ambiente, y cuida la vida de los seres vivos.

1.2 Planteamiento del problema

Aplicando un sistema solar fotovoltaico de última tecnología a una residencia, tenemos los grandes beneficios de generar y distribuir energía eléctrica al usuario, para que tenga una reducción de consumo de energía de la red pública, y aproveche más la energía solar. Para lograr una gran captación del panel fotovoltaico, se debe hacer cálculos y un estudio técnico, para la instalación del sistema en un punto fijo de la residencia del usuario.

Esto, va a lograr que los usuarios residenciales dependan más de un sistema fotovoltaico para ayudar a reducir el consumo de energía de la red pública. Además, el sistema fotovoltaico debe tener adaptadas las protecciones eléctricas correspondientes para evitar fallas y así poder alargar la vida útil de los equipos. Otro requerimiento importante, es brindar en un determinado tiempo, el mantenimiento a los paneles solares, microinversores, cables, panel de comunicaciones y al resto de los equipos.

1.3 Justificación

El presente trabajo, es desarrollar en una vivienda Unifamiliar, la instalación de un sistema fotovoltaico conectado directamente a un centro de carga eléctrica, panel de distribución o tablero, y a su vez, estar conectadas a la red pública. Además un medidor bidireccional, va a facturar el consumo de la carga de la residencia y está programado para registrar la energía entregada por el sistema fotovoltaico y la energía suministrada a la vivienda por parte de la empresa eléctrica.

Este sistema fotovoltaico SSFV es la última versión en tecnología para energías solares, porque utilizará un micro inversor electrónico, que es la nueva versión de un inversor tradicional, debido a que el micro inversor, tiene mayor rendimiento energético que su antiguo competidor, construye la onda de voltaje adecuada, para la vivienda a 208V-240 VAC. Además, el sistema contará con un panel de comunicaciones, con su software conectado en línea con internet, para conocer el rendimiento de los paneles solares, la energía eléctrica producida por el sistema, la eficiencia energética, y otros parámetros importantes, que servirán al usuario para determinar en qué época del año realizar un mantenimiento específico a este sistema solar fotovoltaico SSFV.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo General

Diseñar un sistema solar fotovoltaico SSFV con micro inversor conectado a la red, cumpliendo las normas técnicas nacionales e internacionales, para la utilización de la energía renovable que es obtenida por los paneles solares, y, además alimentar eléctricamente a 208-240V AC a la carga de la residencia.

1.4.2 Objetivos Específicos

- Analizar el ángulo de inclinación de los paneles fotovoltaicos que ayudará a obtener mayor eficiencia para alimentar las cargas instaladas.
- Seleccionar el micro inversor indicado, y el medidor bidireccional, para el diseño eléctrico.
- Determinar los elementos de protección del sistema solar fotovoltaico SSFV.
- Calcular la potencia de la carga a instalarse con el sistema solar fotovoltaico SSFV.
- Considerar el mantenimiento respectivo al sistema SSFV.
- Sugerir el uso de las protecciones eléctricas adecuadas para proteger el sistema fotovoltaico SSFV.
- Detallar el proceso de la instalación del sistema fotovoltaico utilizando los equipos Enphase.
- Mencionar la teoría física de la energía solar, y sus fenómenos físicos.
- Identificar cada elemento presente en el sistema fotovoltaico SSFV.

1.5 Metodología de la investigación

La Metodología está relacionada con los procesos de investigación, mediante la recopilación de la información teórica y técnica, que viabilicen los objetivos planteados en la tesis, con un análisis cualitativo y cuantitativo, que permita alcanzar dichos objetivos. En este proyecto, se utiliza los dos enfoques (Cualitativo / Cuantitativo) en el desarrollo de la tesis.

También, se adhiere la investigación científica para realizar la búsqueda de soluciones a los problemas planteados por el investigador del tema. Resume una hipótesis acerca de las posibles soluciones a los problemas planteados y en comprobar con los datos recogidos, si están de acuerdo con ellos.

Para el diseño de la investigación y en dependencia de los objetivos planteados se utilizó:

- Estudios descriptivos durante el diseño de la propuesta – parte técnica.
- Estudios explicativos sobre la composición, y dimensionamiento del sistema solar fotovoltaico SSFV.
- Estudios exploratorios en el levantamiento de la información base para el diseño del sistema fotovoltaico SSFV.

1.6 Hipótesis

En los paneles fotovoltaicos, su principal fuente de alimentación es el sol, que al captar la radiación luminosa, es desplazada hacia las celdas del panel solar, que convierten la luz en electricidad, produciendo una transformación de energía solar a energía eléctrica.

Las celdas a veces son llamadas células fotovoltaicas. Estas celdas dependen del fenómeno fotovoltaico por el que la energía lumínica produce cargas positiva y

negativa en dos semiconductores próximos de diferente tipo, produciendo así un campo eléctrico capaz de generar una corriente continua.

Los materiales para celdas solares suelen ser silicio cristalino o arseniuro de galio. Los cristales de arseniuro de galio se fabrican especialmente para uso fotovoltaico, mientras que los cristales de silicio están disponibles en lingotes normalizados, más baratos, producidos principalmente para el consumo de la industria microelectrónica. El silicio poli cristalino tiene una menor eficacia de conversión, pero también menor costo.

Cuando se expone a luz solar directa, una celda de silicio de 6 cm de diámetro puede producir una corriente de alrededor 0,5 Amps., a 0,5 voltios continuos (equivalente a un promedio de 90 W/m², en un campo de normalmente 50-150 W/m², dependiendo del brillo solar y la eficiencia de la celda). El arseniuro de galio es más eficaz que el silicio, pero también más costoso. El sistema fotovoltaico SSFV utiliza micro inversores, y su trabajo es transformar la corriente continua que recibe de los paneles en corriente alterna, construyendo la onda de voltaje adecuada a 208-240V AC, para alimentar las cargas conectadas en el panel de distribución (centro de carga) de la vivienda, y si aparece una falla externa o interna en un panel solar, no se reduce de manera desproporcionada la producción de energía todo el conjunto. Además, el sistema tiene nuevos materiales de última tecnología, un portal de comunicaciones para conocer el estado de vida de los paneles solares, la eficiencia de cada uno de ellos y su producción energética.

Toda la información de los parámetros que emitan los paneles solares será enviada por conexión a internet, al programa del usuario y/o al móvil del usuario. Otro elemento presente en el sistema es el uso del medidor bidireccional, que mide el consumo de energía de la empresa eléctrica KW-h, girando en el sentido normal, además puede girar en el sentido contrario, debido al exceso de energía que se produce desde el sistema SSFV de los paneles solares, y haciendo posible que la empresa eléctrica, reste a nuestra factura eléctrica, la energía que estamos generando. Aunque el ARCONEL no se ha pronunciado al respecto ante esta medida, se desarrollará el diseño para que en algún futuro se lo pueda impulsar en todo el país.

PARTE I MARCO TEÓRICO

CAPÍTULO 2

FUNDAMENTOS DE LA ENERGÍA SOLAR

2.1 Historia de La Energía Solar

Desde el inicio del año 400 A.C., el sol ha sido venerado como un dios por casi todas las civilizaciones antiguas. Además, es el eje fundamental de la vida de los seres vivos en la tierra. En la Grecia clásica, los dioses Helios y Apolo, se los consideraba como representantes divinos del sol, los griegos les dedicaron muchos templos por toda su nación, y fueron los pioneros del empleo de la luz solar. Ellos utilizaron la luz para iluminar de forma pasiva sus recintos, ágoras, templos, anfiteatros, etc.

Por otro lado, los romanos mejoraron el diseño de los griegos, implementando en sus ventanas vidrios para retener la luz en sus hogares. Por consiguiente, se estableció leyes que penaban el impedimento del acceso de la luz solar a los vecinos. Luego, los romanos crearon los invernaderos con el fin del cultivo de semillas de plantas exóticas que provenían de otros lugares del imperio.

A mediados del siglo XIX, en el año 1867, el científico suizo Horace de Saussure, desarrollo el primer prototipo de captador solar. Hay que mencionar, además que el logro de Saussure, dependió de la investigación del físico francés, Edmond Becquerel, que fue el estudio del efecto fotoeléctrico en 1839. Después de 100 años de ese suceso, el investigador Auguste Mouchout, utilizo el calor de un captador solar para generar vapor y propulsar un motor. Lamentablemente, los altos precios complicaron que su invento sea disponible en el mercado comercial de esa época. A partir de 1880, se crearon las primeras células o celdas fotovoltaicas de luz solar, su material semiconductor era el selenio, y su eficiencia de conversión fue de un rango de 1 al 2%. Luego, en 1891, Clarence Kemp patentó el primer calentador de agua solar.

En los inicios de los 50, la energía solar aceleró su evolución en la industria energética, porque se produjo cristales de silicio de alta pureza, hasta que en 1954, los laboratorios Bell Telephone, crearon celdas fotovoltaicas de silicón con una eficiencia del 4%, que después de unas mejoras a las celdas, aumentó su eficiencia hasta un 11%. Para que, en 1958, la NASA envié al espacio, un pequeño satélite alimentado con una celda solar de un watt de potencia.

Un gran invento, fue el calentador solar de Charles Greeley Abbott modernizado en el año 1936. Este calentador de agua fue popular por ese tiempo en Florida, California y otros lugares. Tuvo un gran auge hasta mediados de 1950, debido a que el costo del gas licuado de petróleo cayó en ese tiempo; y se usó más este recurso energético como medio para el calentamiento de agua.

Se abandonó la energía solar a fines de 1970. Aunque en esos años, se elevó el precio del petróleo y el gas natural, logrando un resurgimiento del uso de la energía solar para calentar hogares y agua, así como en la producción de energía eléctrica. Por otro lado, en 1990 se inició la Guerra del Golfo Pérsico, y ese evento, hace aumentar el interés de la energía solar como alternativa factible al petróleo.

Actualmente, la energía solar tiene dos usos principales. La primera es el empleo de la potencia térmica solar, en la que se consume la radiación del sol para calentar fluidos con el fin de impulsar turbinas y otras máquinas. La segunda, es la conversión fotovoltaica a partir de la utilización de los paneles solares con inversores, para que distribuyan electricidad a los usuarios. Se debe agregar que los seres humanos, han utilizado la energía solar para cubrir sus necesidades energéticas. En definitiva, el sol es capaz de proporcionar la energía suficiente para cubrir toda la demanda mundial KW-h por año. El país que más emplea la energía solar es la República Popular China, con una capacidad solar de 130 GW. («Historia de la Energía Solar | EnergiaSolar.mx», 2016).

A continuación, en la figura 2.1, se observa la división de clases de la energía solar, mostrando la energía solar de forma directa e indirecta. En la energía solar directa, tiene varios tipos de energía como: Térmica, Fotovoltaica y Termoeléctrica.

En la energía solar indirecta, interviene en un medio de la naturaleza, y produce la energía renovable, estas son: Hidráulica, Mareomotriz, Geotérmica, Biomasa y Eólica. El sol es la causa principal que produce los vientos, la evaporación de las aguas superficiales, la formación de las nubes, las lluvias y, por consiguiente, los saltos de agua. También, es la base de las reacciones químicas indispensables para el desarrollo de los seres vivos.

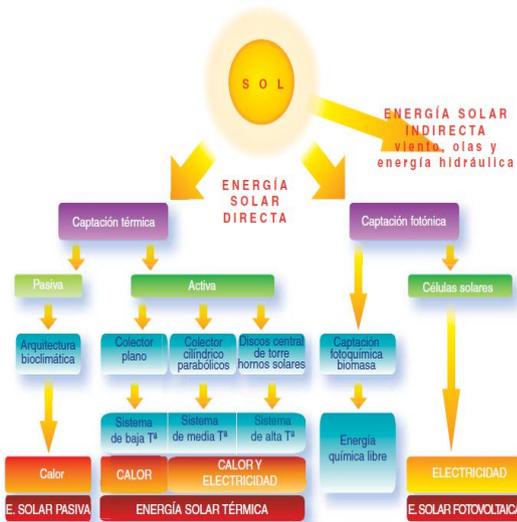


Figura 2.1: La energía del sol

Fuente: *Las Energías Renovables en Castilla y León. (2008)*

2.2 Tipos de Energía Solar

Es la energía solar que proviene directamente del Sol, y se divide en: captación térmica y captación fotónica. En la captación térmica, se obtiene el calor producido por un grupo de elementos mecánicos de baja temperatura, y los de alta temperatura generan electricidad. En cambio, en la captación fotónica, la electricidad es generada por las células solares. Existen varios tipos de energía solar:

2.2.1 Energía Solar Térmica

Es la energía calorífica producida por los captadores solares, y almacenadas por los mismos elementos mecánicos que concentran la energía del sol. Su funcionamiento es sencillo, una superficie metálica absorbe la radiación solar, y

calienta un fluido que circula en su interior. Los captadores son utilizados en varias aplicaciones como: sistemas de calefacción, la producción de agua caliente sanitaria, y el calentamiento de piscinas.

La instalación solar térmica posee cuatro divisiones: captación, almacenamiento, distribución y control. Tiene la ventaja de entregar al usuario agua caliente, limpia y libre de CO_2 , con el fin de satisfacer su necesidad térmica. Cuando se utiliza este tipo de energía solar, no es necesario obtenerla a través de la generación por el combustible fósil mediante el uso de calderas, por tanto, el usuario logra un ahorro económico, un beneficio medioambiental y cuida su salud.

Por el contrario, al instalar un sistema solar térmico, cuesta un 10% más que un sistema tradicional de calefacción, pero es pagada en poco tiempo debido al gran ahorro energético de un 70% en su vida útil, es necesario recalcar que su beneficio se debe al no consumo del combustible fósil, porque el agua caliente es entregada por la instalación solar y no por la caldera, así alcanzando el pago del sistema en poco tiempo.

En la figura 2.2, se muestra los tipos de circuitos que se utilizan en un sistema solar térmico. Tiene dos divisiones: circuito abierto y circuito cerrado. El circuito abierto es más sencillo en comparación con el circuito cerrado.

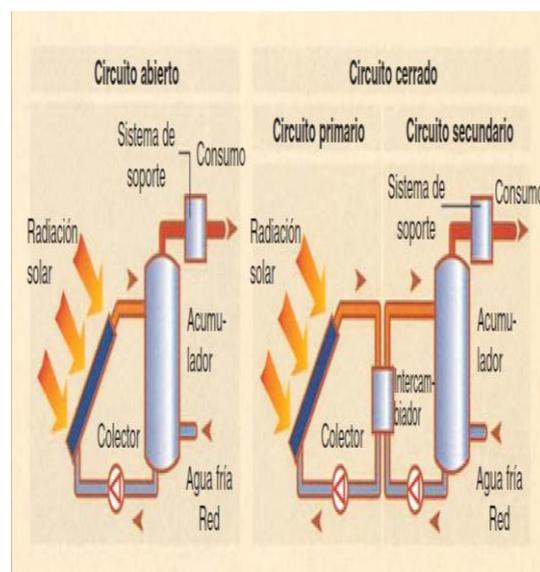


Figura 2.2: Circuitos de un sistema solar térmico
Fuente: *Las Energías Renovables en Castilla y León*. (2008)

Cuando hay un exceso de energía solar sobre la demanda, se debe considerar en su diseño, la intensidad de la demanda energética durante todos los meses del año y la variación de la radiación solar recibida durante ese tiempo. Es decir, en ciertos meses del año la instalación solar no proporciona el 100% de las necesidades energéticas de la dependencia. Para eso, el sistema convencional debe aportar con la energía restante a las necesidades energéticas dependientes. Otro dato importante, es la estacionalidad de la demanda, resulta ser la temperatura en la que opera el captador solar para su óptimo rendimiento, está en un rango de 45 a 60° C. (EREN, 2008)

En la figura 2.3, se explica el funcionamiento del colector solar; el agua que esta almacenada en el interior del serpentín, absorbe la radiación del sol, y posteriormente eleva su temperatura, hasta el punto de ebullición.

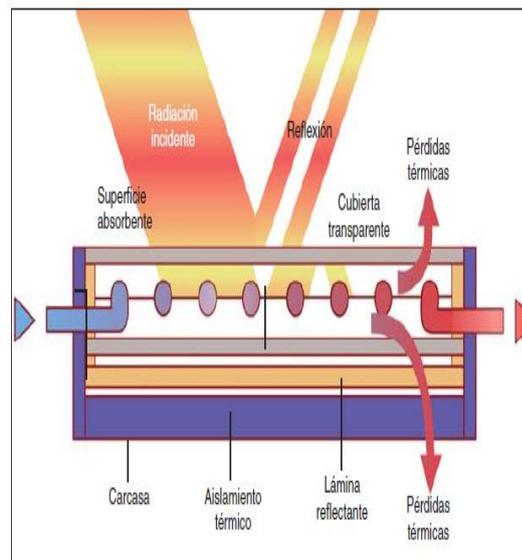


Figura 2.3: *Funcionamiento de un colector solar*
Fuente: *Las Energías Renovables en Castilla y León. (2008)*

2.2.2 Energía Solar Fotovoltaica

La célula fotovoltaica es el elemento principal de este tipo de instalaciones, ya que en este componente eléctrico se produce el efecto fotovoltaico, que consiste en generar la electricidad a partir del sol, observar la figura 2.4. Este efecto es la incidencia de la radiación solar sobre una unión de semiconductores p y n, y produce

un campo eléctrico que produce la corriente eléctrica continua CC. En general, los sistemas fotovoltaicos se dividen en dos grupos: sistemas aislados y sistemas conectados a red. El sistema aislado tiene varios empleos como: la electrificación de viviendas, los sistemas de bombeo, sistemas de tratamiento y distribución de agua, iluminación de bodegas, invernaderos, etc. Este sistema asegura el suministro eléctrico en todo el día o en los periodos de escasa insolación, se requiere de la implementación de un banco de baterías, equipos de control de carga e inversor central para proveer en corriente alterna AC 208-240V a la carga definida. Se debe dimensionar correctamente el conjunto de baterías y los módulos fotovoltaicos para garantizar el nivel deseado del suministro, del consumo y su estacionalidad; también, su tipología de intensidad.

La instalación debe avalar el 100% de las necesidades eléctricas de la dependencia o imposibilidad de conexión a la red pública, por lo cual, el aspecto económico comparado con la necesidad del suministro, queda relegado a un segundo plano.

En cambio, los sistemas conectados a red, se adaptan a través del inversor o el grupo de inversores, o microinversores que otorgan la corriente alterna requerida por la red, esto sucede en el caso de instalaciones de gran potencia en MW, ejemplo: un edificio. El titular de este sistema, recibe una prima por entregar la energía solar suministrada a la red, que es un descuento económico importante que le permite liquidar su inversión fotovoltaica. (EREN, 2008)

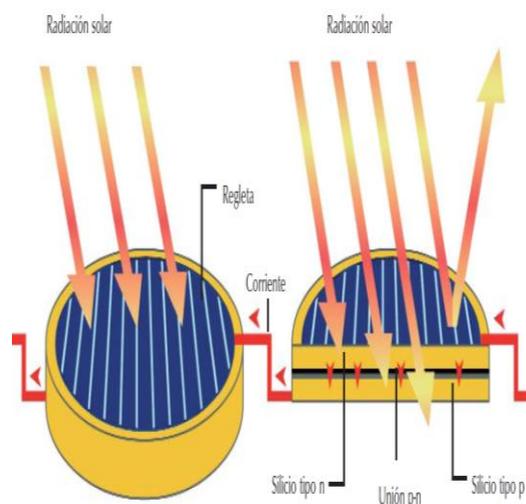


Figura 2.4: *Funcionamiento de una célula fotovoltaica*
Fuente: *Las Energías Renovables en Castilla y León. (2008)*

2.2.3 Energía Solar Termoelectrica

Con esta tecnología, se supera los 400°C necesarios para la producción de energía eléctrica. No obstante, es una tecnología en experimentación y es considerada como un complemento de las centrales térmicas convencionales, así mismo no emite gases de efecto invernadero a la atmósfera. Se dividen en tres tipos de termoelectricas:

- Colectores solares cilindro-parabólicos

Emplean unos colectores formados por espejos cilindro-parabólico que concentran la radiación solar para reflejarla a un tubo situado en el eje del cilindro. Dentro del tubo, existe la presencia de un fluido que se dirige a un vaporizador o intercambiador de calor en contracorriente con agua, en donde se produce el vapor y mueve una turbina, que es la responsable de la generación de energía eléctrica.

Como se observa, en la figura 2.5., el colector solar cilindro-parabólico consta de: tubo absorbente, reflector y tubería solar de campo.

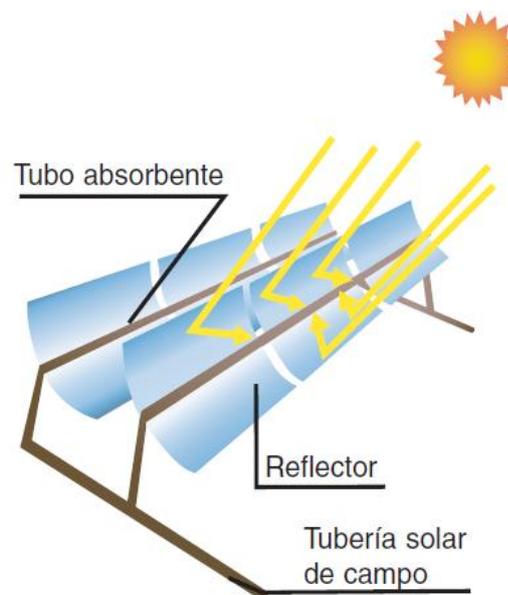


Figura 2.5: *Funcionamiento del colector solar parabólico*
Fuente: *Las Energías Renovables en Castilla y León. (2008)*

- Centrales de torre

Los helióstatos (espejos), concentran la radiación del sol y la reflejan incidentemente sobre una superficie receptora que está instalada en la cima de una torre. En esta superficie, circula un fluido que refrigera por convección la superficie y entrega la energía térmica para producir vapor.

Este vapor se dirige a unas turbinas que están acopladas a unos generadores que van a producir la energía eléctrica, que va a ser distribuida en las líneas de alta tensión. En la figura 2.6, se muestra el funcionamiento de una Central de la Torre Solar. En España existe la Central PS10, que está ubicada en Sanlúcar la Mayor, en Sevilla. Su potencia es de 11 MW, y utiliza 624 helióstatos. Su superficie es de 60 hectáreas.

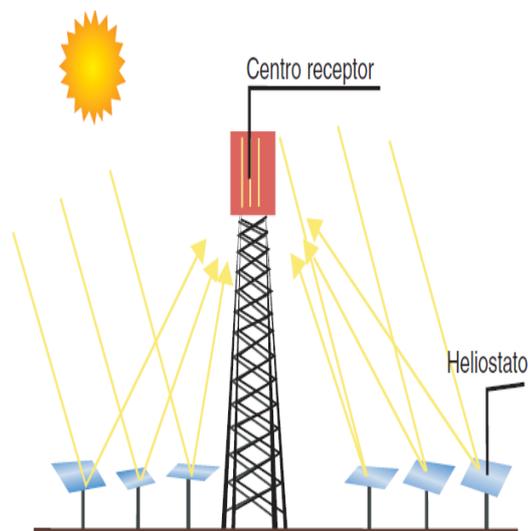


Figura 2.6: *Funcionamiento de la Central de Torre Solar*
Fuente: *Las Energías Renovables en Castilla y León. (2008)*

- Disco motor

Está constituido por un conjunto de espejos que forman un disco-parabólico en cuyo centro, posee un receptor solar que calienta un fluido, y se transforma en vapor para luego, generar electricidad mediante el movimiento de varios tipos de motores.

A continuación, en la figura 2.7, se muestra el funcionamiento de un disco motor.

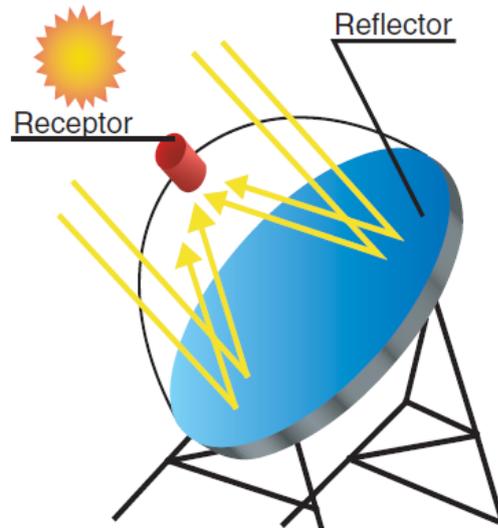


Figura 2.7: *Funcionamiento del disco solar*
Fuente: *Las Energías Renovables en Castilla y León. (2008)*

De las tres tecnologías mencionadas, solo el colector solar cilindro-parabólico, se encuentra en el mercado a nivel comercial, las demás están en periodo de ensayo en zonas como la Plataforma Solar de Almería, en España, que tiene 500 MW de energía termoeléctrica instalados. (EREN, 2008)

2.3 Tipos de Energías Renovables

Las energías alternativas provienen directa o indirectamente del Sol, son abundantes en el medio natural debido a que su materia prima se puede regenerar, y pueden perdurar por miles de años; también, su impacto sobre la naturaleza, es mínima en el medio ambiente. Se utilizan para frenar el empleo de las fuentes de energía actuales como el petróleo, gas natural o carbón, que acarrear consigo problemas como la progresiva contaminación, o el aumento de los gases invernadero. La discusión de energía alternativa-convencional no es una simple elección a futuro, sino un cambio que debe producirse en este siglo.

El sol es una estrella luminosa, siendo el centro de nuestro sistema planetario, e irradia a la tierra una energía de 174,4 billones de kW-h. Su energía es emitida en gran cantidad a nuestro planeta; así mismo, nuestro planeta es apto para la vida, porque interviene en el clima para crear los diferentes ciclos naturales que intervienen en las otras energías renovables. Estos fenómenos de la naturaleza son: el

ciclo del agua, los vientos, las corrientes marinas o el crecimiento de las plantas; también, intervienen en el origen de las demás energías limpias. Por tanto, las energías renovables son inagotables mientras no se extinga el sol.

El uso de las energías limpias sobre la energía producida con combustible fósil, le otorga dos ventajas a su competidor contaminante. La primera, la mayoría de las fuentes de energía limpia generan un impacto ambiental menor que otras fuentes energéticas, es decir, no producen gases tóxicos a la atmósfera, ni residuos contaminantes de difícil tratamiento y emisiones por causa de accidentes.

En segundo lugar, utilizando estas fuentes de energía limpia, reducimos el consumo de recursos contaminantes, como: el petróleo, el carbón, el gas natural, etc. Entre las diferentes tipos de energías renovables encontramos: Hidráulica, Eólica, Biomasa, Geotérmica y Mareomotriz. (EREN, 2008)

2.3.1 Hidráulica

La energía hidráulica aprovecha el caudal de los ríos, y ha sido utilizada en la antigüedad para moler granos, mover maquinaria en industrias, y actualmente, en generar energía eléctrica. Su obtención es a partir de la energía cinética y potencial generada por el caudal del agua que atraviesa el desnivel existente entre dos puntos. Para lograr la energía eléctrica, el caudal del agua pasa por el interior de la central, golpea las turbinas, y a su vez, transmiten la potencia mecánica de su rotación, mediante un eje. El eje está conectado a un generador de electricidad, y por medio de un transformador elevador, se envía la energía eléctrica a las líneas de transmisión. (Monar, 2015) & (EREN, 2008)

La potencia de una instalación es determinada por el caudal y el salto de agua. Si es mayor el salto del agua, será mayor la potencia que genere la central; pero, este desnivel entre más alto sea, mayor será el impacto ambiental en el entorno. Como se muestra en la figura 2.8, una central hidroeléctrica, posee varios elementos que la componen, estos son:

- Tubería forzada
- Presa
- Turbina hidráulica
- Generador eléctrico
- Transformador
- Líneas eléctricas
- Compuertas y válvulas hidráulicas
- Rejas y limpia rejas
- Embalse
- Casa de Maquinas (turbinas)

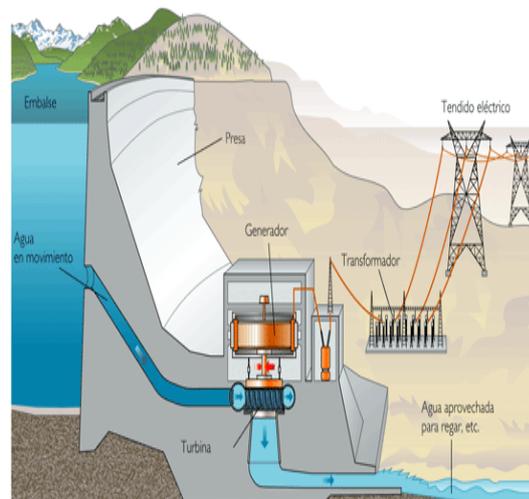


Figura 2.8: *Central Hidroeléctrica*
Fuente: *Monar, Israel. (2015)*

2.3.2 Eólica

El viento ha sido empleado por las civilizaciones antiguas en: la navegación, el bombeo de agua y los primeros molinos de grano. Actualmente, el viento es utilizado en la generación de energía eléctrica.

El viento es el producto de las diferencias de temperatura y presión de la atmósfera, originado por la radiación solar; también está presente en las distintas capas de aire de la atmósfera. El aire se desplaza en todos los lugares donde exista la diferencia de presión, y este movimiento genera el viento. Se debe tener en cuenta los parámetros elementales que intervienen en el viento como: topografía del terreno, velocidad, dirección, turbulencia o variación con la altura. También, sirve para el diseño.

En este siglo, el viento es más utilizado en el bombeo de agua y la generación de electricidad, ya sea para un sistema aislado o conectado a la red pública.

Para generar la electricidad por medio del viento, se necesita un aerogenerador de gran tamaño, véase la figura 2.9. El aerogenerador se compone de tres palas conectadas a un rotor, el cual es adaptado a un eje conectado al generador, ya sea directamente o a través de un multiplicador; También, se debe colocar en la cima de un mástil, donde tenemos más presencia del viento, y posee un sistema de orientación del rotor, que le permite cambiar de ángulo para seguir el rumbo del viento. (EREN, 2008)

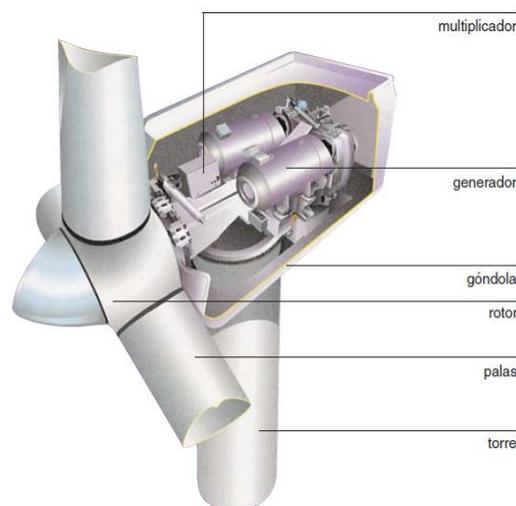


Figura 2.9: *Partes de un aerogenerador*
Fuente: *Las Energías Renovables en Castilla y León. (2008)*

En la figura 2.10, se observa el parque Eólico Poza de la Sal en Burgos, España.

Este parque eólico opera desde el 2002, posee un total de 67 turbinas eólicas que operan a plena carga, y cada una tiene una potencia de 750 Kw.

Su diámetro de palas es 48 m. Su altura es de 55 m, y la potencia nominal total, es de 50.250 kW.

Su localización geográfica es en Latitud: $42^{\circ} 39' 35.9''$, y de Longitud: $-3^{\circ} 33' 36''$.

La potencia instalada de los parques eólicos en España es de 18.263 MW.



Figura 2.10: *Parque Eólico Poza de la Sal, Burgos (España)*
Fuente: *Las Energías Renovables en Castilla y León. (2008)*

2.3.3 Biomasa

En el siglo XIX, antes de la etapa industrial, se utiliza la leña para varias aplicaciones industriales, pero fue relegada de su función, por el uso del carbón, ya que este recurso energético provocó la revolución industrial, y por consiguiente, fue reemplazada en su totalidad por los combustibles fósiles.

La biomasa es el uso de la materia orgánica como recurso energético, y recopila un gran conjunto de varios tipos de residuos orgánicos naturales. Su agrupación es en residuos agrícolas y forestales. Su empleo es para obtener calor y producir electricidad, por el cual se utilizan cualquiera de los cuatro procesos básicos que son: combustión, digestión anaeróbica, gasificación y pirolisis.

El hombre ha empleado a la biomasa para fines térmicos, como: el uso de la leña residual en la población con el fin de calentar sus hogares, y el uso del calor transmitido por el ganado mediante establos bajo viviendas. Actualmente, se utiliza en los países en vías de desarrollo y sectores industriales, a causa del elevado precio de los recursos energéticos no renovables. (EREN, 2008) & (APPA (Asociación de Empresas de Energías Renovables), 2009)

En la figura 2.11, se observa una máquina que tritura residuos de madera que van a ser utilizados como combustible en calderas para el calentamiento de agua, o generación de electricidad en centrales térmicas.



Figura 2.11: Trituración de madera

Fuente: *Impacto macroeconómico de las energías renovables en España. (2015)*

2.3.4 Geotérmica

Es una energía renovable que utiliza el calor irradiado del interior de la tierra a la atmósfera, para la generación de energía eléctrica. Se obtiene esta energía, perforando el suelo hasta llegar a la corteza terrestre, ya sea una mina, pozos, etc.; también, proviene del núcleo de la tierra, ya que es generada por la fricción mecánica de las placas litosféricas. La energía geotérmica es muy utilizada en los países nórdicos como: Dinamarca, Finlandia, Islandia, Noruega y Suecia, ya que poseen abundantes fuentes de calor subterráneas.

Sus aplicaciones se determinan por las propiedades físicas del manantial como: la temperatura del yacimiento, caudal, presión y calidad química del agua, y sus posibles usos en la zona donde está presente. (EREN, 2008)

Estas tecnologías se dividen en tres aplicaciones: las centrales geotérmicas, las aplicaciones de uso directo y las bombas de calor geotérmicas. Las centrales geotérmicas producen la electricidad cuando perforan los pozos a un kilómetro o más de profundidad, con el fin de explotar los depósitos subterráneos geotérmicos, de

vapor y agua caliente. En la figura 2.12, se muestra las divisiones de la central Geotérmica, son: estación satélite y planta, localización del pozo, inyección del pozo y transmisión eléctrica.

Las aplicaciones de uso directo son utilizadas para la producción de agua caliente en la industria, agrícola o residenciales; también es usada para la calefacción del ambiente.

Las bombas de calor geotérmicas, requieren de la energía del suelo poco profundo para climatizar los edificios. Este sistema está constituido por unos tubos soterrados en el terreno de la edificación, un intercambiador de calor y un sistema de conductos internos del inmueble. Por otro lado, las bombas de calor geotérmicas disponen de una gran ventaja sobre el sistema de calefacción por captador de energía solar mediante paneles, no necesita de acumuladores de gran capacidad y sistemas de producción de electricidad que utilicen para su funcionamiento el combustible fósil, este último con el fin de compensar las horas de privación de radiación solar.

La masa de la tierra es un gran acumulador de energía térmica, siendo una fuente de energía a temperatura constante, tiene un comportamiento como infinita en esta aplicación energética.

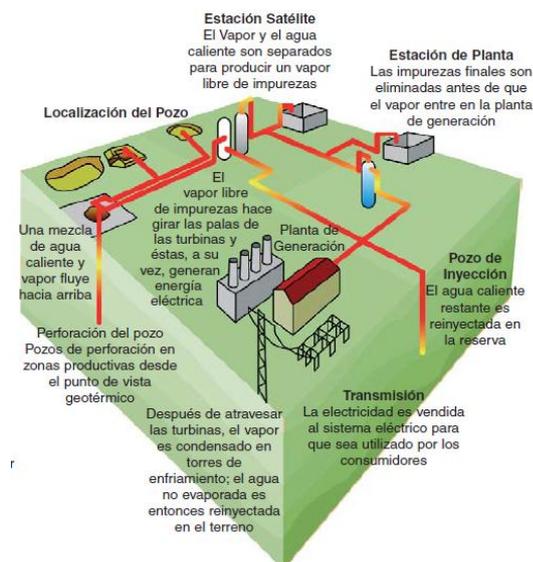


Figura 2.12: *Funcionamiento de una central Geotérmica*
Fuente: *Las Energías Renovables en Castilla y León. (2008)*

En la figura 2.13, se muestra el funcionamiento de una bomba de calor geotérmica, este sistema consta de: Tanques de agua, bombas de calor e intercambiador de calor.

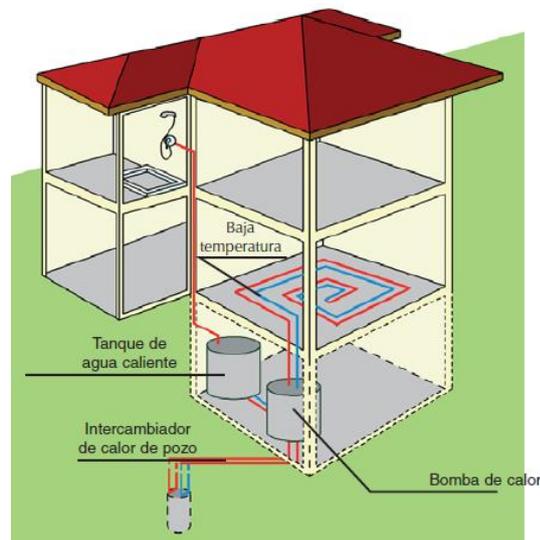


Figura 2.13: Funcionamiento de una Bomba de calor geotérmica
Fuente: *Las Energías Renovables en Castilla y León*. (2008)

2.3.5 Mareomotriz

La energía mareomotriz es producida por el movimiento de las mareas, y pertenece al grupo de las energías renovables; así mismo, es una energía libre de emisiones y subproductos contaminantes al medioambiente.

Las mareas son la variación del nivel de las aguas de los océanos generadas por la atracción gravitatoria de la Luna, el Sol, y la rotación de la Tierra. En la costa, los niveles del agua son variables hasta 15 metros entre Pleamar (altura máxima de la marea) y Bajamar (altura mínima de la marea). Una gran ventaja de la energía mareomotriz sobre la energía solar y eólica, es que las fluctuaciones del nivel de las aguas se muestran de manera más constantes y predecibles, que los otros recursos energéticos comparados. Además, la amplitud de la marea no debe ser menor a 4 metros, puesto que aseguramos una buena producción de energía eléctrica. La infraestructura requerida para generar electricidad por medio de mareas, es construir una barrera con la función de obligar al agua a que se mueva dentro de unos conductos especiales para hacer girar unas turbinas hidráulicas semejantes a las turbinas de las centrales hidroeléctricas. Este sistema funciona de forma bidireccional, es decir, se produce electricidad tanto en el ciclo de ingreso de agua

como en ciclo de egreso. Actualmente, existe otro sistema que no necesita desplazar y retener grandes proporciones de agua detrás de diques. Este sistema es similar a los molinos de viento pero están dimensionados para trabajar bajo el agua. Las turbinas se colocan en el fondo del mar o un poco sumergidos y giran con el paso de las corrientes marinas generadas por las mareas. Comparando el sistema mareomotriz con el sistema eólico, se encuentra la diferencia que al mover un fluido como el agua, este es 800 veces más denso que el aire, y por tanto suministra mayor cantidad de energía. Sin embargo, la relación entre la producción de energía que se obtiene junto al costo económico y ambiental, han sido un impedimento para su uso generalizado de esta clase de energía. (E. Rodríguez, 2014) & (Vercelli, 2012)

Existen cinco plantas de energía mareomotriz más grandes del mundo, son:

- Sihwa Lake, Corea del Sur: 254 MW
- La Rance, Francia: 240 MW
- Tidal Lagoon, Reino Unido: 240 MW
- MeyGen, Escocia: 86 MW
- Annapolis Royal, Canadá: 20 MW

En la figura 2.14, se muestra la central mareomotriz Sihwa Lake, ubicada en Corea del Sur.



Figura 2.14: Central Mareomotriz Sihwa Lake
Fuente: Rodríguez, Eugenio. (2014)

CAPÍTULO 3

RADIACIÓN SOLAR Y ORIENTACIÓN DE LOS PANELES FOTOVOLTAICOS

3.1 Radiación Solar

Las reacciones de fusión en el sol, convierten la masa en energía que es irradiada hacia el exterior en todas las direcciones. Este tipo de reacción, viaja a través del espacio y una pequeña fracción es absorbida por la tierra. La distancia varía constantemente, debido a que nuestro planeta forma una trayectoria elíptica y su recorrido es de $1.47 \times 10^8 \text{ Km}$ a $1.52 \times 10^8 \text{ Km}$. Diversos factores influyen en la composición de la energía solar que llega a la superficie terrestre; por consiguiente, es aprovechada por los dispositivos fotovoltaicos. Ver figura 1.3, en el día, la radiación solar llega a niveles muy altos, antes y después del mediodía. Los factores que influyen en la composición de la energía solar son:

- **Nubosidad:** las nubes actúan como una barrera que impide el movimiento de la radiación, produciendo una reflexión y absorbiéndola. El efecto de las nubes sobre la radiación es producida por su densidad, entre más densas y oscuras, existe menor cantidad de radiación; también, sucede con las nubes blancas.
- **Altitud:** cuanto más alta sea la capa de la atmósfera es más delgada y absorbe en menor cantidad la radiación. Por cada Kilómetro de aumento en altitud, la intensidad de la radiación crece en un 10 a 12%.
- **Ozono:** retiene gran parte de la radiación emitida por el sol, no es solo creado sino que se descompone en oxígeno nuclear y átomos de oxígenos libres. A lo largo del año e incluso en el día, varía la concentración de ozono.

La irradiación solar que llega a la tierra, es de un rango de $1.325 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$ hasta $1.412 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$.

Su valor medio es $1.353 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$, y es considerado como la constante solar. El planeta

Tierra recibe un 30% de la energía total captada por la atmósfera, y el 70% incide en el mar. Aun así, tiene miles de veces más que el consumo energético mundial. (Monar, 2015) & (Domínguez González, 2012)



Figura 3.1: Radiación Solar en la tierra
Fuente: Monar, Israel. (2015)

3.2 Radiación Solar sobre una Superficie

Es el flujo de radiación solar que choca con la superficie de la tierra, y depende de los factores astronómicos y climáticos. Como se ve en la figura 3.2. Los factores se definen en:

- Factores astronómicos: dependen de la geometría tierra – sol. Esto es, la posición relativa sol-tierra y de las coordenadas geográficas del lugar como: latitud y longitud.
- Factores climáticos: es la altitud del sol que incide en las temperaturas y precipitaciones que varían en las diferentes zonas de la tierra. (Monar, 2015)

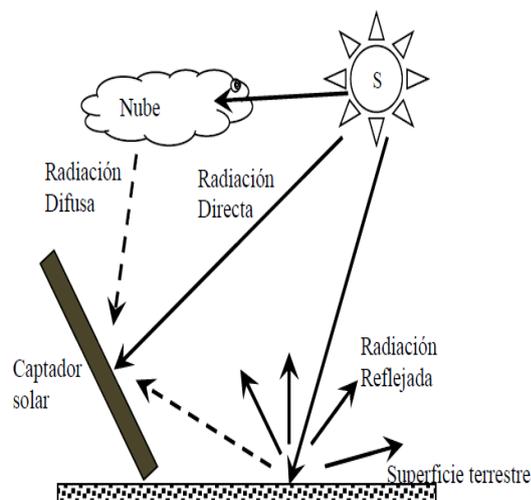


Figura 3.2: Tipos de Radiación Solar
Fuente: Domínguez, Héctor. (2012)

La influencia de la latitud en relación con la temperatura es muy alta, ya que el ángulo de incidencia de los rayos solares establece la cantidad de calor que recibe una superficie. Se expresa de la siguiente manera:

$$G_{dm}(0) = \frac{G(\text{mes e inclinación})}{3600}$$

Dónde:

- $G_{dm}(0)$: Valor medio mensual o anual de la irradiación diaria sobre una superficie horizontal ($\text{kWh}/\text{m}^2 \cdot \text{día}$).

Actualmente en el Ecuador, se conoce los valores promedios de la radiación global horizontal del país, gracias al ‘Atlas Solar del Ecuador con fines de Generación Eléctrica’ que fue presentado por el Consejo Nacional de Electricidad (CONELEC) en el año 2008. El objetivo de este documento es impulsar la energía solar como fuente energética. (CONELEC, 2008)

A continuación, en la tabla 3.1, se adjunta la tabla con los valores de Radiación Global promedio del Ecuador:

Tabla 3.1: Radiación Global Promedio del Ecuador

Radiación Atlas Solar CONELEC	
Mes	Radiación (kWh/m²x día)
Enero	4,41
Febrero	4,48
Marzo	4,65
Abril	4,36
Mayo	4,27
Junio	4,14
Julio	4,30
Agosto	4,62
Septiembre	4,97
Octubre	4,88
Noviembre	4,93
Diciembre	4,83

Fuente: Atlas Solar del Ecuador con fines de Generación Eléctrica. (2008)

3.3 Clasificación de la radiación solar

La radiación solar se compone de 3 partes: directa, indirecta y albedo

3.3.1. Radiación directa

Ya que no hay atmósfera en el espacio exterior, el sol emite la radiación solar en línea recta y viaja sin obstáculos a través del vacío del espacio. La atmósfera permite que una parte de esta radiación continúe directamente a la tierra, sin dispersarse. La radiación directa se denomina también radiación de haz. Los rayos de radiación directa son paralelos y producen sombras. La radiación extraterrestre se compone casi exclusivamente de radiación directa.(James P. Dunlop, 2010)

3.3.2. Radiación difusa

Es la radiación solar que se dispersa por la atmósfera y las nubes. En cualquier lugar de la tierra se puede recibir radiación difusa de muchas direcciones a la vez, además de la radiación directa del sol. La porción de la radiación global total que es radiación difusa varía de aproximadamente del 10% al 20% para cielos despejados y hasta 100% para cielos cubiertos.(James P. Dunlop, 2010)

3.3.3. Radiación reflejada o albedo

Es la radiación que se refleja en la superficie terrestre. La cantidad de radiación depende del coeficiente de reflexión de la superficie hacia el receptor. Las superficies horizontales no perciben ninguna radiación reflejada, ya que no impactan con la superficie terrestre y las superficies verticales son las que más radiación reflejada reciben. La radiación solar, atraviesa 10.000 km de altura y se divide en diferentes capas como: la Troposfera, Estratosfera, Mesosfera y la Ionosfera. (Monar, 2015)

3.4 Factor AM (Masa de Aire)

La radiación sufre variaciones cuando penetra la atmósfera, y es producido por modificaciones que dependen del espesor de la capa atmosférica haciendo que esta sea absorbida, reflejada y dispersada en todo el planeta tierra. La masa de aire es determinada por la horizontal del lugar y la posición relativa del sol. En el momento que los rayos del sol caen perpendicularmente con respecto a la horizontal se afirma que el sol está en el zenit. En esta posición, la radiación es directa y atraviesa una distancia mínima de la atmósfera. La masa de aire incrementa su valor, cuando el sol está más cerca del horizonte. La radiación solar es medida por el pirómetro, este dispositivo se compone de dos semiesferas, una placa negra metálica que funciona como superficie de absorción y varios elementos termosensibles instalados en su interior.

3.5 Radiación Solar sobre una Superficie Inclinada

Es la intensidad de la radiación luminosa dependiendo de la altitud del sol, en el cual, se considera los parámetros de la pendiente y la orientación de los módulos fotovoltaicos. También, la orientación debe direccionarse hacia el sur en oposición al lado norte. (Monar, 2015)

Para calcular el valor medio anual de la irradiación diaria de la tierra es:

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

Dónde:

- $G_a(\beta_{opt})$: Valor medio anual de la irradiación global sobre una superficie con inclinación óptima (kwh/m^2).
- $G_a(0)$: Media anual de la irradiación global horizontal (kwh/m^2).
- β_{opt} : Inclinación óptima de la superficie (grados).

3.6 Factor de Irradiación

Es la proporción de la radiación que incide en un generador con orientación e inclinación correspondiente (α, β) en razón de la debida orientación e inclinación óptimas ($\alpha = 0^\circ, \beta_{opt}$). Así mismo, para obtener las pérdidas de radiación, viene dadas por: $(1-FI)$. El diseñador del sistema, va a orientar los módulos fotovoltaicos de manera que la energía captada sea muy alta en el periodo de diseño ($\alpha = 0^\circ, \beta_{opt}$). En cambio, no siempre el generador tendrá una orientación e inclinación óptima, dado que influyen otros factores alteran el factor. Los factores son: el polvo impregnado en los módulos, la resistencia al viento, las sombras, etc.

Para calcular el factor de irradiación, se utilizara la expresión:

- Ángulos de inclinación: $15^\circ < \beta \leq 90^\circ$

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

- Ángulos de inclinación: $\beta \leq 15^\circ$

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

Dónde:

- **FI**: Factor de irradiación (sin unidades)
- **β** : Inclinación real de la superficie (grados)
- **β_{opt}** : Inclinación óptima de la superficie (grados)
- **α** : Acimut de la superficie (grados)

Para obtener las horas pico sol (HPS), requieren de la inclinación y orientación elegidas, así como los datos de localización del lugar. La declinación solar se calcula, y se elige los días de la temporada. Luego, se calcula la elevación solar:

- $\beta = \varphi - \delta$; para solsticio de verano.
- $\beta = \varphi + \delta$; para solsticio de invierno.

- $\beta = \varphi$; para los equinoccios, haciendo que la latitud sea igual a la declinación.

Finalmente, las horas sol pico (HPS), es el resultado de multiplicar la radiación global optima por el factor de irradiación.

3.7 Distancia Óptima entre filas de cada Arreglo de Módulos Fotovoltaicos

Cuando se tiene una gran cantidad de módulos fotovoltaicos a instalar y no se tiene mucho espacio, es necesario juntar las filas de paneles, pero en la época de invierno, se producen las sombras de una a otra fila. En cambio, en la época de verano, aparece la sombra a una fila tras otra en menor tamaño, debido a que el recorrido del Sol es más alto, y de igual modo, la sombra manifestada por la fila precedente es más pequeña. La distancia entre fila y fila es definida por la latitud de la zona de la instalación, ya que el ángulo de incidencia solar cambia con ese parámetro. (Yuba Solar, s. f.) & (Domínguez González, 2012)

Es calculada al mediodía para que su altura sea mínima; utilizamos la fórmula:

- $\beta = (90 - \text{latitud}) - \delta$

Dónde:

- β = Ángulo de sombra de la 1ra fila de módulos respecto al eje horizontal
- latitud = lugar donde se realizará la instalación fotovoltaica
- δ = Declinación solar, se valora el día más desfavorable

Como se observa en la figura 3.3, la distancia entre los módulos fotovoltaicos. Luego, necesitamos hallar la distancia entre los módulos fotovoltaicos. Para obtener 'D', se sigue estas fórmulas:

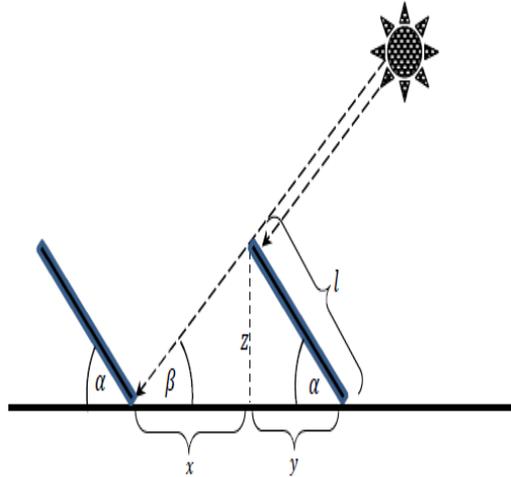


Figura 3.3: Distancia entre módulos fotovoltaicos
Fuente: Domínguez, Héctor. (2012)

Fórmulas:

- $y=l*\text{Cos}\alpha;$
- $z=l*\text{Sen}\alpha;$
- $x= \frac{z}{\text{Tan}\beta};$
- $D=x+y$
- $D=\text{Distancia mínima entre filas de módulos}$

3.8 Ángulo de Inclinación de los Módulos Fotovoltaicos

Para determinar la ecuación de la inclinación de una superficie fija, se debe realizar estudios estadísticos de radiación solar anual sobre superficies con varias inclinaciones situadas en distintos lugares de latitudes, ya que provee la inclinación óptima en servicio de las distancias angulares. (Monar, 2015)

Dónde:

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

- β_{opt} = Ángulo de inclinación óptima (grados)
- $|\varnothing|$ = Latitud del lugar (grados)

Se emplea la fórmula para investigar la máxima captación de energía solar en todo el año. Por medio de las prácticas en el campo laboral, es más fácil determinar la inclinación de los módulos fotovoltaicos en función del periodo del tiempo y el uso de implementar la central fotovoltaica. Ver en la tabla 3.2.

El Ecuador se encuentra entre las latitudes 5° S y 2°N. El ángulo óptimo de inclinación de los módulos fotovoltaicos debe ser un ángulo máximo de 10° en cualquier parte del país. La latitud es la distancia angular entre la línea ecuatorial, y un punto determinado de la tierra, medida a lo largo del meridiano en el que se encuentra dicho punto. (Ortega Hidalgo, 2013)

Tabla 3.2: *Ángulo de inclinación máximo*

Latitud	Ángulo de inclinación máximo
0° - 5°	0 - 10°
6° - 20°	Latitud local + 5°
21° - 45°	Latitud Local + 10°
46° - 65°	Latitud Local + 15°
66° - 75°	80°

Fuente: *Ortega, Oscar. (2013)*

3.9 Trayectorias Solares

La tierra tiene varios paralelos de latitud. El hemisferio Norte es la latitud positiva y su rango es $0 \pm$ y $-90 \pm$. El paralelo de $0 \pm$ es el ecuador terrestre. Se utilizara para esa latitud el símbolo \hat{A} . Otra división que posee la tierra, son sus meridianos de longitud. Se utiliza el meridiano $0 \pm$ que se sitúa en Greenwich, Inglaterra. Desde el este hasta el oeste, los meridianos poseen un rango de $0 \pm$ a $180 \pm$. Como se ve en la figura 3.4.

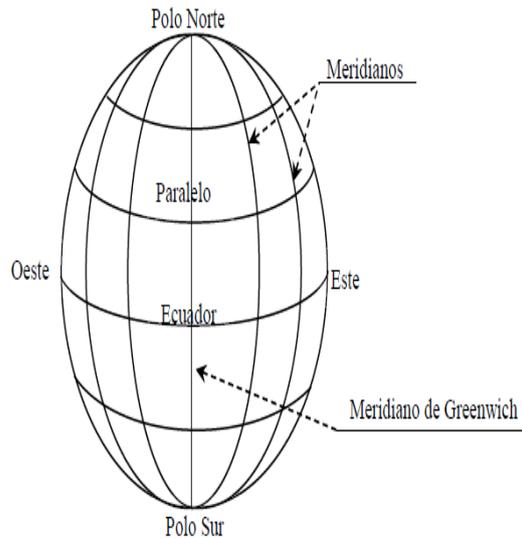


Figura 3.4: Paralelos y Meridianos de la Tierra
Fuente: Domínguez, Héctor. (2012)

El horizonte es el plano fundamental, y es tangente al suelo terrestre. La vertical a este plano en dirección a la semiesfera celeste superior establece la posición del Zenit del lugar o local. Para la dirección contraria, por medio de la Tierra, se posiciona el Nadir. En el plano horizontal, las direcciones principales son la Norte-Sur, se intersecan con el plano meridiano del lugar, y la perpendicular a ella es la Este – Oeste, que es la intersección con el plano primer vertical. (Domínguez González, 2012)

Las definiciones que se observan en la superficie terrestre son:

- Zenit: es la línea vertical al plano horizontal en el punto del observador.
- Masa de Aire (AM): es el cociente entre el grosor de la atmósfera que atraviesa el haz de luz en cualquier momento con respecto al grosor óptico si el sol está en el zenit. Si $m = 1$, el sol está en el zenit. La fórmula AM depende del ángulo zenit θ y la altura local (m.s.n.m) de h , es:

$$m(\theta, h) = \left(\frac{1}{\cos\theta} + 0.15(3.885 + \theta)^{-1.253} \right) e^{-0.0001184h}$$

- Inclinación (β): es el ángulo entre el plano fotovoltaico y la horizontal. $0 \leq \beta \leq 180^\circ$.

- Latitud del lugar (ϕ): es la parte complementaria del ángulo constituido por la recta que une el zenit y el nadir con el eje polar. En el Norte es positivo y en el Sur es negativo, esto es la posición angular con respecto al Ecuador. $-90^\circ \leq \lambda \leq 90^\circ$.
- Meridiano del lugar: es el círculo principal de la tierra que pasa por el lugar, por el zenit y el nadir.
- Ángulo zenital (θ_{zs}): Está constituido por el radio vector punto-Tierra y la vertical del lugar. En el Zenit su valor es positivo. Es calculada con la siguiente expresión:

$$\theta_{zs} = \arccos(\text{Sen } \phi * \text{Sen } \delta + \text{Cos } \phi * \text{Cos } \omega)$$

También de esta manera:

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

- Altura solar (γ_s): Ángulo que forman los rayos del sol sobre la superficie horizontal. Es un ángulo complementario de la distancia zenital.
- Ángulo azimutal (ψ_s): es un ángulo formado por la proyección del Sol sobre el horizonte con la dirección al Sur. Es positivo de 0° a 180° hacia el Oeste y es negativo hacia el Este 0° a -180° .
- Declinación: es la posición angular del sol al mediodía con respecto al Ecuador. La inclinación de la tierra es $23^\circ 27'$, y su ángulo es igual en solsticio de invierno, y es negativo en el solsticio de verano.
- Nadir: es la intersección entre la vertical del observador y la esfera celeste.

La declinación δ es definida con la siguiente fórmula:

$$\text{Sen } \delta = 0,3979 * \text{Sen} \left(\# \text{días} * \frac{360}{350} \right)$$

A continuación, en la tabla 3.3, se observa los meses de verano en Ecuador. Estos datos fueron tomados por el ARCONEL, y colocados en el pliego tarifario para las Empresas Eléctricas.

Tabla 3.3: *Meses de Verano en Ecuador*

Meses	Días
Junio	30
Julio	31
Agosto	31
Septiembre	30
Octubre	31
Noviembre	30
Total	183

Fuente: ARCONEL. *Pliego Tarifario para las Empresas Eléctricas. (2016)*

Observe la figura 3.5, se muestra la proyección solar en un día. Aquí intervienen: la puesta del sol, la trayectoria aparente del sol, ángulo cenital, ángulo solar, ángulo acimutal y la salida del sol. La trayectoria aparente del sol, es su salida desde el Este hasta llegar a su puesta en el Oeste.

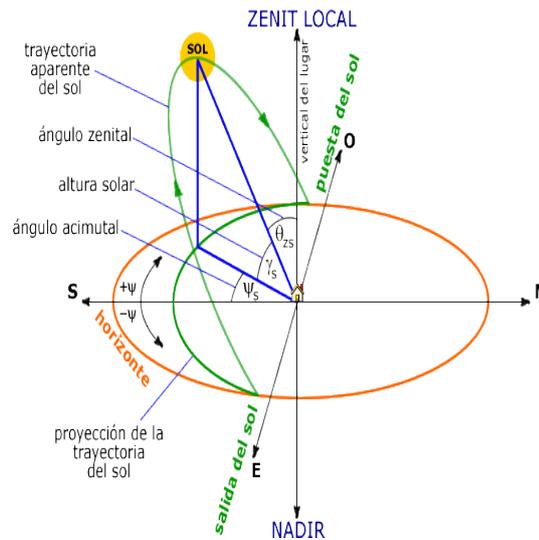


Figura 3.5: *Proyección solar en un día*

Fuente: Domínguez, Héctor. (2012)

CAPÍTULO 4

DESCRIPCIÓN DEL SSFV CON MICROINVERSORES

4.1 Sistema Solar Fotovoltaico SSFV

Un sistema solar fotovoltaico (SSFV, en siglas) es un conjunto de elementos que cumplen la función de captar los rayos del sol y generar energía eléctrica al usuario. Estos equipos que conforman el sistema son: el módulo fotovoltaico, Envoy (Portal de Comunicaciones), el micro inversor, y otros elementos necesarios que mantienen la seguridad y el rendimiento de la instalación. A continuación, describiremos los componentes y equipos que forman el sistema solar fotovoltaico. Ver en la figura 4.1, el sistema fotovoltaico usando equipos Enphase. (EREN, 2004) & (Enphase Energy, 2016a)



Figura 4.1: Sistema fotovoltaico usando equipos Enphase
Fuente: *Manual de Microinversores M250 y M215*. (2016)

4.2 Módulos Fotovoltaicos

Es el elemento principal del sistema fotovoltaico y su trabajo, es obtener la energía solar incidente y generar una corriente eléctrica. (EREN, 2004)

Como se observa en la figura 4.2, el módulo o panel fotovoltaico está conformado por:

- Encapsulante
- Marco metálico
- Recubrimiento exterior
- Recubrimiento posterior
- Conexiones eléctricas

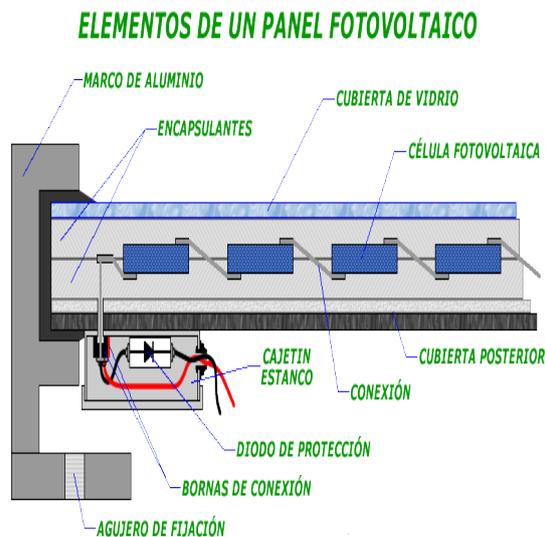


Figura 4.2: Composición de un panel solar fotovoltaico
Fuente: Monar, Israel. (2015)

4.2.1. Recubrimiento Exterior

Es el vidrio que facilita la captación de la radiación por parte del conjunto de las células fotovoltaicas.

Este debe facilitar al máximo la transmisión de la radiación solar. Se caracteriza por su resistencia mecánica, alta transmisividad y bajo contenido en hierro.

4.2.2. Material Encapsulante

Es una protección de las células solares. En la instalación solar fotovoltaica, se utiliza productos a base de siliconas o EVA (etileno-vinil-acetato) porque son muy transparentes a la radiación solar y no se envejecen por el tiempo, también protege de la humedad a las células fotovoltaicas.

4.2.3. Recubrimiento Posterior

Es un cerramiento que protege al módulo, en algunas veces es un vidrio telar. El recubrimiento es de color claro, y es una ventaja, debido a que la radiación solar que llega entre las células se refleja por esa superficie y vuelve al recubrimiento exterior, el cual vuelve a reflejar la radiación y es absorbida por las células.

4.2.4. Conexiones Eléctricas

Se ubican en la parte posterior del módulo, y son accesibles para el usuario o instalador. Contiene el cableado y las bornas de conexión. El módulo fotovoltaico es fácil de instalar con los conectores del microinversor.

4.2.5. Marco Metálico

Esta hecho de aluminio anodizado o acero inoxidable, y envuelve a todo el conjunto del módulo.. La unión entre el marco metálico y los elementos que forman el modulo, está realizada mediante distintos tipos de sistemas resistentes a las condiciones de trabajo del panel. Como se ve en la figura 4.3.



Figura 4.3: *Panel Solar Fotovoltaico*
Fuente: *Monar, Israel. (2015)*

4.2.6. Características eléctricas del módulo fotovoltaico

El modulo fotovoltaico tiene varios parámetros eléctricos que le dan su esencia, y se los define a continuación:

- Intensidad de cortocircuito (I_{sc}): Es la corriente máxima que se obtiene del módulo. Para calcularlo, se mide la corriente entre los bornes del panel cuando se provoca un cortocircuito ($V = 0$). La corriente de cortocircuito de un módulo es igual al de una de sus células fotovoltaicas multiplicada por el número de filas conectadas en paralelo.
- Tensión Nominal (V_n): valor del voltaje de diseño a la cual opera el modulo e indica si el modulo es apto para una determinada instalación.
- Tensión a circuito abierto (V_{oc}): es el valor de voltaje máximo que se mide en un módulo cuando no hay paso de corriente entre los bornes. ($I = 0$). Esta tensión es la de cada una de sus células por el número de estas conectadas en serie. Ver figura 4.4.
- Potencia Máxima (P_m): se la conoce como potencia pico. Es el mayor valor del producto de la corriente y el voltaje del módulo fotovoltaico para cada uno de sus valores definidos por la curva V-I del módulo. La potencia del panel disminuye un 0,5% por cada grado por encima de 25°C que eleva la temperatura del módulo.
- Eficiencia del módulo: es el cociente entre la potencia eléctrica producida por el módulo y la radiación que incide sobre el mismo. (Ortega Hidalgo, 2013)

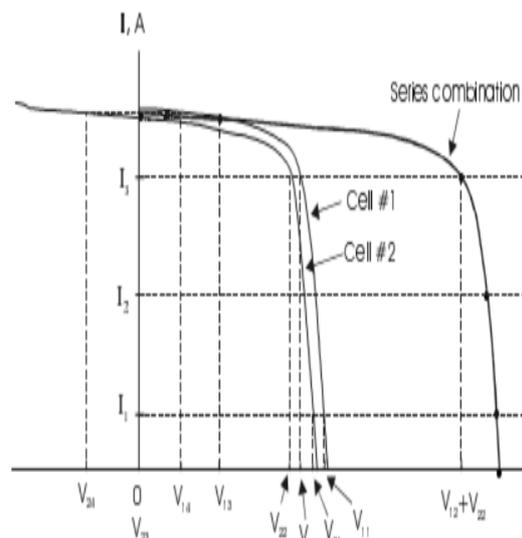


Figura 4.4: Curva I-V
Fuente: Ortega, Oscar. (2013)

4.2.7. Diodos de bloqueo y By pass

En las noches, los módulos fotovoltaicos desarrollan una cantidad baja de corriente, debido a que las celdas por falta de la luz del sol, actúan como diodos polarizados ya que su conexión es en serie, esta protección viene integrada en caso de que el sistema utilice baterías. Su voltaje generado es más pequeño que el valor de las celdas. Su consumo es casi nulo, tiene un rango del 1 al 3% de la potencia abastecida en ese momento. Los diodos de bloqueo evitan que los módulos fotovoltaicos descarguen las baterías. Ver figura 4.5. (Ortega Hidalgo, 2013)

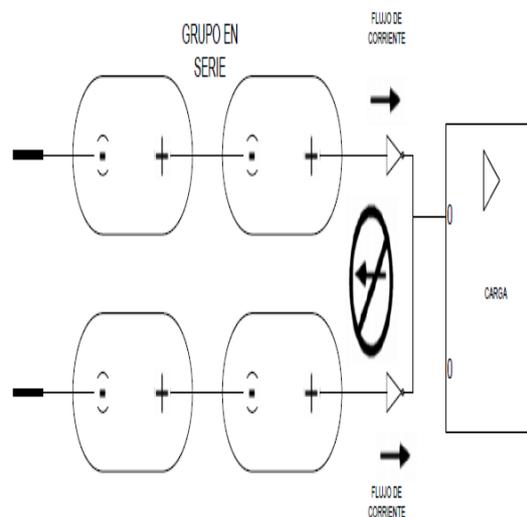


Figura 4.5: Diodos de Bloqueo
Fuente: Ortega, Oscar. (2013)

Otro problema que sucede en los módulos fotovoltaicos, es que existe la posibilidad de que celdas sean opacadas individualmente. El rendimiento del módulo decrece. La topología en serie de las celdas, puede ser afectada por el oscurecimiento de algunas celdas, y polarizar los módulos que estén conectados en paralelo, si existiera el caso. Esto provoca un calentamiento que provocaría una degradación para luego convertirse en una falla prematura de las celdas. Se utiliza diodos de By pass, su conexión es en paralelo con los módulos, y evitan que el modulo no genere por causas de sombreado, es decir, se transforme en carga y no en generador. Ver en la figura 4.6. (Ortega Hidalgo, 2013)

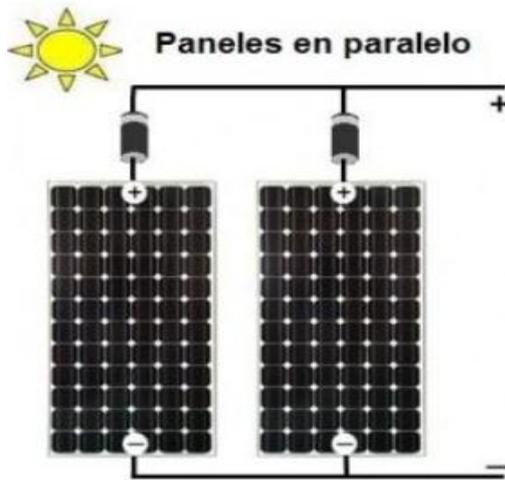


Figura 4.6: Diodos de By pass
Fuente: Ortega, Oscar. (2013)

4.3 Células Solares

Una célula fotovoltaica o solar es un semiconductor que transforma la radiación emitida por el sol en electricidad de corriente continua, ya que el sol es la fuente de la radiación. Su fabricación es mediante la cristalización del silicio, aunque también existen otros tipos de células solares con otra combinación de elementos químicos. En las instalaciones domésticas se utiliza este tipo de células:

4.3.1. Silicio Monocristalino

La célula está formada por un único tipo de cristal, su red es idéntica al cristal y la solidificación de los átomos de silicio es perpendicular entre sí; además, no posee imperfecciones. Las células comerciales tienen un rango de eficiencia del 14% hasta el 17%, y en pruebas de laboratorio, su eficiencia es más alta, logra un 25%. (EREN, 2004) & (James P. Dunlop, 2010)

4.3.2. Silicio Policristalino

El proceso de cristalización del silicio es desordenado, obteniendo una red de diferentes cristales y la conformación de la célula es por la unión de varios cristales. Su eficiencia es ligeramente inferior a las células mono cristalinas; el rango es del 11.5% hasta el 14%, tienen un menor costo de fabricación y su competencia es reñida con las células mono cristalinas. (EREN, 2004) & (James P. Dunlop, 2010)

4.3.3. Silicio Amorfo

No existe red cristalina alguna y el material es depositado sobre finas capas que se unen entre sí. Su eficiencia es la más baja que las demás células de silicio, su rango es del 5% hasta el 9.5%. En condiciones de laboratorio, los científicos han logrado una eficiencia del 12.1%. Su color es homogéneo, y tiene la ventaja de depositarse en forma de lámina delgada, sobre un sustrato como vidrio o plástico. (EREN, 2004) & (James P. Dunlop, 2010)

Tabla 4.1: Eficiencia de materiales fotovoltaicos

Material	Eficiencias típicas	Mejor eficiencia en laboratorio
Arseniuro de Galio (GaAs)	33 a 38	40.7
Silicio Monocristalino	14 a 17	24.7
Silicio Policristalino	11.5 a 14	20.3
Selenuro de cobre e indio de galio (CIGS)	9 a 11.5	19.9
Teluro de cadmio (CdTe)	8 a 10	16.5
Silicio Amorfo (a-Si)	5 a 9.5	12.1
Sensibilizado al tinte (Grätzel)	4 a 5	11.1
Polímero orgánico	1 a 2.5	5

Fuente: *Sistemas Fotovoltaicos. (2010)*

En cualquiera de esta clase de células, se manifiesta el efecto fotovoltaico. Es un fenómeno físico en el que consiste la excitación de un material semiconductor debido a la presencia de la radiación solar, provocando el flujo de electrones del material por el interior del mismo, este flujo es una corriente eléctrica continua que está presente en todo el circuito. La corriente eléctrica interna existe por las dos zonas de conductividades conocidas como p y n, que están presentes en el material que

estructura las células. Estas zonas se crean, cuando se añade un dopaje en el silicio. El dopaje, es añadir al silicio impurezas o algún elemento químico para que forme la zona de conductividad específica.

El boro es un dopaje añadido al silicio para crear la zona p, es una zona positiva porque tiene un electrón de enlace menos que el silicio, y la impureza del fósforo produce la zona n que es negativo, ya que tiene un electrón de más que el silicio.

En la célula cuando cae la radiación solar en las uniones de las zonas p y n de los semiconductores, se produce una fuerza electromotriz para el desplazamiento de los electrones en exceso de la zona n hacia los huecos de la zona p.

Si el circuito está cerrado, los electrones pueden moverse externamente, porque existe la presencia de unas mallas metálicas en la parte frontal de las células y en la parte posterior, y están unidas por los conductores eléctricos que extraen la corriente continua generada por la célula. A continuación, observe la figura 4.7, el efecto fotovoltaico en una célula solar.

Una célula individual, produce 0,4 V. para lograr tensiones superiores, se debe unir con más células, en serie y paralelo, de modo que se unan al dorso de una de ellas con la parte frontal de la adyacente, conformando módulos de 12 V y 24V. (EREN, 2004)

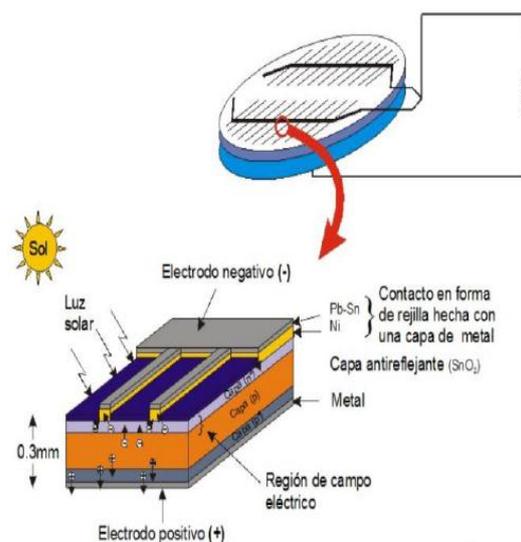


Figura 4.7: Efecto Fotovoltaico
Fuente: Ortega, Oscar. (2013)

4.4 Envoy

Es el portal de comunicaciones que da acceso a la red de los módulos fotovoltaicos, y a los microinversores. Este aparato recopila los datos de producción de electricidad y el rendimiento de cada módulo, por medio de las líneas de corriente alterna; también envía los datos al Enlighten a través de internet, ya que necesita una conexión a un router. Posee actualización automática y su instalación es “plug & play”. El Envoy S, opera con microinversores M215 y M250. Una ventaja, es que puede operar en sistemas monofásicos de 240 V AC y en sistemas trifásicos 208 V DC. Para sus datos mecánicos, ver en la tabla 4.2. (Enphase Energy, 2016b) & (Enphase Energy, 2016a)

Tabla 4.2: Características técnicas del Envoy S

Datos Mecánicos	
Dimensiones (An.xAl.xPr.)	21,3x12,6x4,5 cm (8,4x5x1,8 pulg.)
Peso	498 (17,6 oz)
Intervalo de temperatura ambiente	De -40° a 65° C (de -40° a 149°F)
Calificación ambiental	IP30, para instalación en interiores o en una caja 3R de tipo NEMA, certificada por NRTL.
Altitud	Hasta 2000 metros (6560 pies)

Fuente: ENPHASE Envoy S – Series. (2016)

4.5 Microinversor

Este aparato eléctrico convierte la corriente continua del módulo fotovoltaico en energía eléctrica de corriente alterna AC, para luego ser entregada a la red eléctrica, cumple casi la misma función de un inversor tradicional. Aunque, el microinversor tiene una ventaja, que es maximizar la producción de energía usando un algoritmo de registro de punto máximo de potencia (MTTP). El microinversor se conecta individualmente a un panel fotovoltaico del conjunto de paneles que conforman el sistema.

Esto hace que el MTTP, controle de manera individual cada panel y que exporte su energía eléctrica alterna AC a la red, siendo su rendimiento independiente a los demás paneles. Si en un panel fotovoltaico individual, es afectado por sombra, suciedad, mala orientación o desalineación del módulo fotovoltaico, cada

microinversor instalado, garantiza su máximo rendimiento para su panel fotovoltaico afiliado.

Este microinversor Enphase, opera a plena carga con temperaturas ambientes de hasta 65°C (150°F), y su diseño es para ambientes a la intemperie y cumple con la norma NEMA 6. Esta norma corresponde a la clasificación ambiental de carcasas. El microinversor M250 de Enphase, posee en su circuito de CC la protección por falla de conexión a tierra (en inglés Ground fault protection), y no necesita de un conductor de electrodo de conexión a tierra (GEC) como el M215. En un circuito derivado de CA con una protección de sobrecorriente de 20 A (OCPD), se fija el número máximo de microinversores que cabe en cualquier tipo de sistema, ya que es determinado por el cálculo del tipo de servicio de red. A continuación, los datos se muestran en la tabla 4.3:

Tabla 4.3: *Número máximo de microinversores presentes en un circuito de 20 A*

Tipo de servicio	Número máx. De M250 por circuito derivado AC	Número máx. De M215 por circuito derivado AC
240 V CA, monofásico	16	17
208V CA, trifásico	24	25

Fuente: *Manual de Instalación y Funcionamiento, Microinversores M250 y M215. (2016)*

Dependiendo del cálculo, y el tipo del servicio de red. Los microinversores funcionan en servicios monofásicos y trifásicos. Ver en la tabla 4.4, las conexiones de los microinversores:

Tabla 4.4: *Conexiones de los microinversores M250 Y M215*

240 V CA, monofásico		208 V CA, trifásico	
L1 a L2	211 a 264 V CA	L1 a L2 a L3	183 a 229 V CA
L1, L2 a Neutro	106 a 132 V CA	L1, L2, L3 a neutro	106 a 132 V CA

Fuente: *Manual de Instalación y Funcionamiento, Microinversores M250 y M215. (2016)*

Nota: Para evitar un desequilibrio de fases en el servicio trifásico, se debe minimizar el número de conectores sin usar.

Ver en la figura 4.8. Cuando se instale el SSFV en cualquier tipo de servicio de red, dependiendo de la longitud del cable, se produce una subida de tensión. Para evitar este inconveniente, se dimensiona el tamaño del cable de CA en relación con su

distancia. Solo se acepta una subida de tensión del 2% para tramos de circuito derivado de CA desde el microinversor hasta el disyuntor del centro de carga. Es recomendable aplicar la alimentación central al circuito derivado para reducir la subida de tensión; también, se debe dividir el circuito en dos subcircuitos derivados que son protegidos por solo un dispositivo de protección de sobrecorriente (En inglés, Overcurrent protection device) OCPD.

En cualquier tipo de instalación, los microinversores Enphase necesitan un supresor de sobretensiones y rayos, ya que su protección interna no soporta una descarga atmosférica. (Enphase Energy, 2016a, p. 250).



Figura 4.8: *Microinversor M250*
Fuente: *Manual de Microinversores M250 y M215*. (2016)

El funcionamiento de un microinversor consiste en utilizar un convertidor tipo “Boost” para obtener la tensión necesaria y luego ondularla e inyectarla a la red. Esta configuración se la llama múltiples etapas (multi-stage). En una etapa CC-CC, se implementa el MPPT junto al “Boost” y eleva la tensión del módulo FV a un nivel cercano del valor pico de la tensión de red. Luego, la última etapa convierte dicha tensión de CC en CA a la frecuencia de red. Esto se realiza con el modulador senoidal por ancho de pulso (en inglés, Pulse Width Modulation PWM). Observe en la figura 4.9, el circuito de un microinversor.

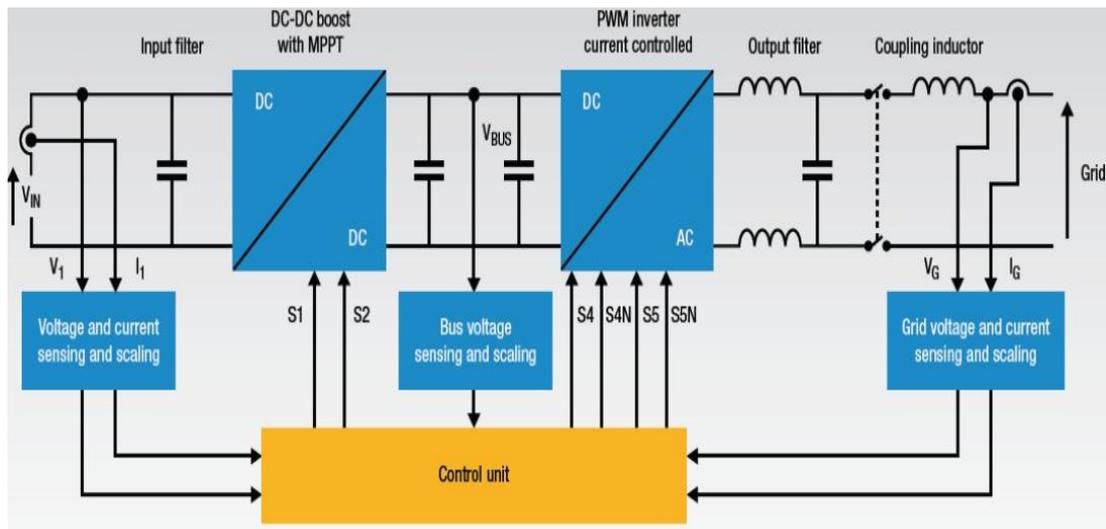


Figura 4.9: Circuito de un *Microinversor*
Fuente: *Digikey*. (2016)

4.6. Elementos Secundarios del Sistema Fotovoltaico SSFV

Los elementos de un sistema fotovoltaico SSFV, tienen varios elementos que son necesarios para la seguridad y control de la instalación. Estos elementos de control y seguridad son utilizados en toda instalación de un sistema fotovoltaico, sin embargo hay que dar mucha importancia a los sistemas en corriente continua, considerando que en los sistemas convencionales, se alimentan por corriente alterna y esto conduce a errores en fotovoltaica.(EREN, 2004)&(Enphase Energy, 2017)

Los elementos secundarios son:

4.6.1. Enlighten Enphase

Es un software de análisis y vigilancia de Enphase. Realiza la toma de datos del sistema solar fotovoltaico, y los envía por medio del Envoy. En el programa, los datos son mostrados en gráficas, y se pueden acceder a los informes de rendimiento del sistema a las 24 horas del día, en los siete días de la semana.

Se puede recibir alertas automatizadas sobre cualquier problema que afecte al rendimiento del sistema solar fotovoltaico. También, examina los datos de cada panel solar recogidos por su respectivo microinversor propio. Otra cualidad del Enlighten, es localizar cualquier déficit en la producción de energía eléctrica, determinar las

posibles causas y dar sus soluciones. Dependiendo del inconveniente que afecte el rendimiento del sistema, es necesaria una visita en el terreno no planificada. Como se observa en la figura 4.10. Al disponer del software Enlighten, es necesario desarrollar una cuenta, para así recibir mensajes a su correo sobre los sucesos que afecten al bajo rendimiento de los paneles solares. (Enphase Energy, s. f.-a)



Figura 4.10: Programa Enlighten Manager
Fuente: Enlighten manager. (2015)

4.6.2. Toolkit Enphase

Es una aplicación móvil de Enphase, que se enlaza con la cuenta Enlighten. Con esta aplicación, puede buscar los números de serie de los microinversores de su sistema y conectarse al Envoy para dar seguimiento al proceso de instalación. Depende de una red inalámbrica para que la configuración y la verificación del sistema sean más rápidas. Se puede ver los microinversores que se detectaron, cuales se comunican y cuales producen energía eléctrica. Ver figura 4.11.

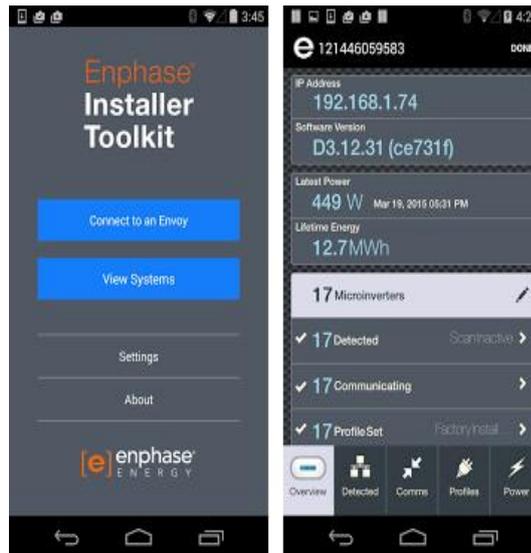


Figura 4.11: Aplicación de Móvil ToolKit Enphase
Fuente: *Installer Toolkit de Enphase. (2015)*

4.6.3. Cable de Enganche Enphase

Es un tramo continuo de cable N° 12 AWG, con conectores preinstalados para microinversores de Enphase. El cable es utilizado para exteriores, lo que permite su corte, empalme y extensión de acuerdo con las necesidades. Los accesorios Engage complementan al cable Engage y le permiten adaptarse a cualquier tipo de instalación. Ver figura 4.12.



Figura 4.12: Cable Engage
Fuente: *Enphase engage cable. (2016)*

4.6.4. Herramientas y conectores de Enphase

En la instalación de un sistema solar fotovoltaico, se requiere ciertos elementos que son necesarios para la conexión de los cables de CA con CC, agarre del microinversor y su desconexión (H. Rodríguez, 2017). Para eso necesitamos de:

- Acoplador: Es una terminal para cada circuito derivado de AC.
- Protector de sello estancado: Es una tapa protectora para tapar cada uno de los conectores sin uso del cable. Es recomendable pedirlos para la instalación del SSFV.
- Acoplador: Es una caja de cierre hermético para conectar dos cables en una instalación de Enphase.
- Herramienta de desconexión: Se utiliza una por cada instalación.
- Cable Clip: Sujetan la estructura o atan los rollos de cable.
- Marco metálico de Enphase: conecta los microinversores en el suelo y sujetar el componente armado al techo para su instalación.

4.7. Dispositivos de protección del Sistema SSFV

En un instalación solar fotovoltaica de autoconsumo o conectada a la red, dependen de elementos de protección para sobretensiones, debido a que sus equipos de generación como los módulos fotovoltaicos están a la intemperie, y pueden sufrir descargas atmosféricas, ya que los módulos están en partes altas porque los soporta una estructura metálica. Este sistema es protegido por autoválvulas o pararrayos. La función de estos equipos es proteger a los equipos del sistema derivando a tierra la descarga de un rayo que cae sobre ellos. Son unos descargadores de corriente que poseen una resistencia de tipo inversa hecha de óxido de Zinc (ZnO) o carburo de silicio (SiC), su valor baja cuando aumenta la tensión externa que se aplica en ellos. Cuando son instalados en el sistema, debe estar lo más cerca posible para así cumplir su función de diseño. Observe la tabla 4.5.

Tabla 4.5: Protecciones de sobrecorrientes y pararrayos

Residencial	Comercial
<ul style="list-style-type: none">- Citel DS72-RS-120- Delta LA-302- Leviton 51110 o 51110-001- Midnight Solar MNSPD-300 o MNSPD-300FM	<ul style="list-style-type: none">- Citel DS73-RS-G- Delta LA-303

Fuente: *Manual de Microinversores M250 y M215. (2016)*

CAPÍTULO 5

INSTALACIÓN DE LOS EQUIPOS ELÉCTRICOS EN EL SSFV

5.1. Instalación del microinversor en El Sistema Solar Fotovoltaico

La instalación de los elementos que componen el sistema solar fotovoltaico, contienen varios pasos importantes. Cada paso es descrito con detalles para la facilidad del operario, y sus instrucciones son sencillas de seguir. Observe, la figura 5.1.

Lo más importante de instalar en el sistema, son: el microinversor y el portal de comunicación Envoy, pertenecientes a la marca Enphase. (Enphase Energy, 2016a) & (Enphase Energy, s. f.-b)

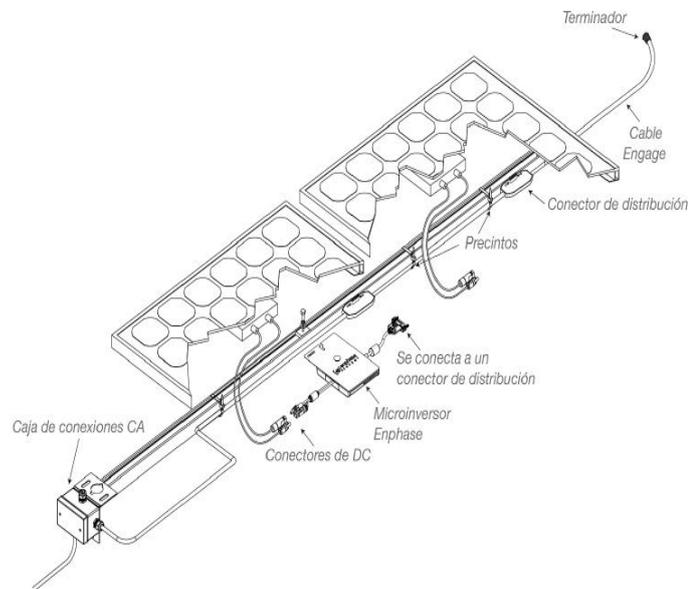


Figura 5.1: *Instalación de los equipos de Enphase*
Fuente: *Manual de Microinversores M250 y M215. (2016)*

Paso 1: Conecte el cable Engage al microinversor

El cable Engage es instalado para la intemperie, con conectores integrados para adaptarse al microinversor. Los conectores son preinstalados en los extremos del

cable engage, para que se adapten a los módulos fotovoltaicos en cualquier posición (horizontal o vertical). El microinversor se acopla con el conector y la terminación del cable Engage se conecta a la caja de conexiones que retroalimenta la electricidad al disyuntor de CA del sistema.

Observe en la figura 5.2.

- Utilizar el cable correcto: Dependiendo del tipo de servicio eléctrico, se escoge el cable indicado. Un cable Engage de 208 V, se emplea en acometidas trifásicas; pero, en una conexión monofásica, se usa el cable de 240 V. es necesario, revisar la etiqueta de los conectores para saber el tipo de tensión.
- Determine una longitud estándar para el cable, e instale los conectores de distribución en los extremos del cable, con el fin de que se alineen con cada módulo fotovoltaico.
- Corte la sección establecida del cable Engage, dependiendo del cálculo de su SSFV, y ordene el cable por el gabinete con abrazaderas.
- Coloque el cableado por todo el gabinete para formar el circuito derivado.

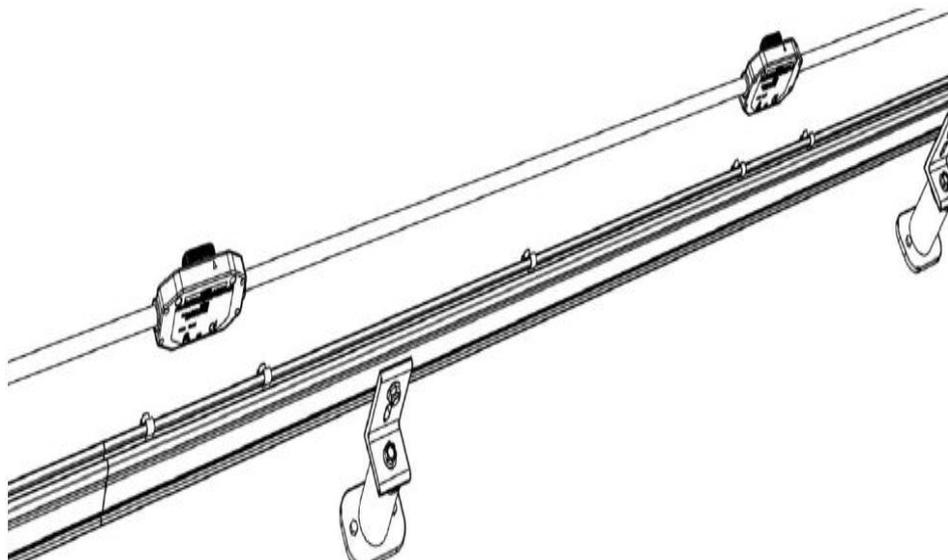


Figura 5.2: Instalación del cable Engage en el gabinete
Fuente: *Manual de Microinversores M250 y M215*. (2016)

En el momento de la instalación del sistema, se debe planificar la cantidad límite de los circuitos de CA para que el número de microinversores conectados a los módulos, no sea superado. Cada circuito derivado de cada microinversor, debe poseer un disyuntor de dos polos a 20 A, este caso es en una instalación monofásica.

Paso 2: Instalar una caja de conexión de circuito derivado de CA

Como se ve en la figura 5.3.

- Conecte una caja de conexiones de acuerdo a la tensión del sistema.
- Hay que tomar en cuenta la subida de tensión, cuando se elige el calibre del cable.
- Vuelva a medir el cable engage, tomando en cuenta la subida de tensión.
- Realice una conexión de CA desde la caja de conexiones hasta la conexión del cuadro eléctrico. Se debe cumplir las normas eléctricas nacionales e internacionales, en este caso el NEC (National Electrical Code).

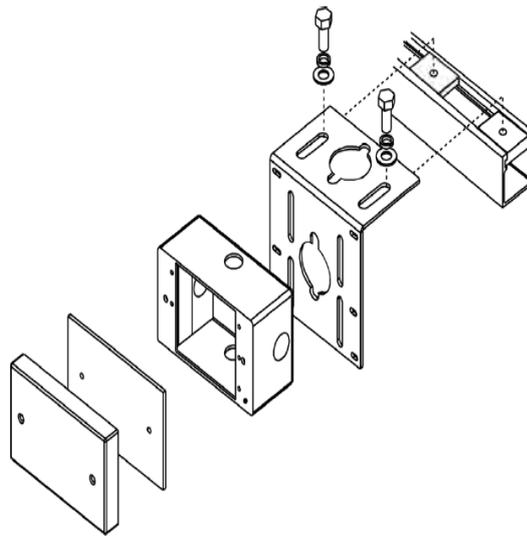


Figura 5.3: Instalación de caja de conexiones

Fuente: *Manual de Microinversores M250 y M215*. (2016)

Paso 3: Conexión de los microinversores en el gabinete fotovoltaico

- Marque los centros de cada módulo fotovoltaico, y ubique el microinversor con respecto a la caja de conexiones de CC del módulo fotovoltaico.
- Asegure que el microinversor no bloquee con el bastidor de refuerzo del módulo.
- Examine que el conector del microinversor pueda adaptarse con el conector del cable.
- Dejar separaciones entre el techo y la parte inferior del microinversor (distancia min. 1.9 cm); también, entre la parte posterior del módulo y la parte superior del microinversor (distancia min. 1.3 cm).
- Instale un microinversor debajo de cada panel fotovoltaico, y no apriete en exceso los cierres.
- Instale el microinversor debajo del módulo fotovoltaico para evitar la exposición a fenómenos climatológicos; también, no lo coloque en posición invertida.

Como se observa en la figura 5.4.

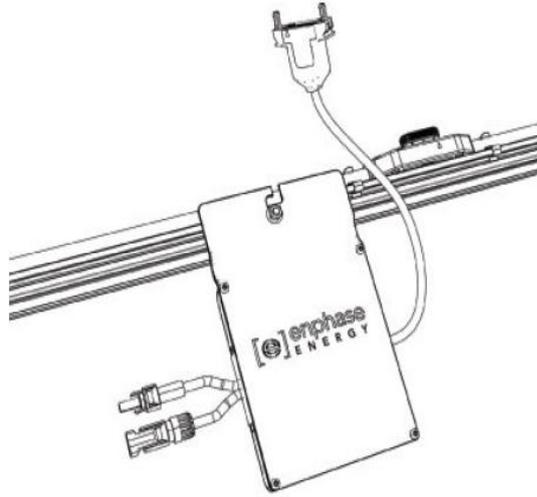


Figura 5.4: *Instalación del microinversor Enphase*
 Fuente: *Manual de Microinversor M250 y M215. (2016)*

Paso 4: Crear un gráfico de instalación para el SSFV

Es una representación esquemática en el que está representada la instalación del Sistema Solar Fotovoltaico, más se enfoca en los microinversores y el portal de comunicaciones Envoy.

- Copie el gráfico para registrar la ubicación de los microinversores en el sistema.
- Extraer la etiqueta del número de serie de cada microinversor.
- Pegar la etiqueta del número de serie del envoy, y colóquela en el gráfico de instalación.
- Guarde una copia del gráfico de instalación como respaldo.

Paso 5: Conecte los microinversores a tierra

(Solo es aplicado para el microinversor M215-60-2LL-S22)

Posee una placa de conexión a tierra que se adapta a un conductor de electrodo de conexión a tierra, se utiliza un conductor de calibre 6-8 AWG. Examine la figura 5.5.

- Adapte un GEC a través de cada uno de los microinversores hacia el electrodo de la conexión a tierra de CA.
- Conecte a tierra el gabinete fotovoltaico y el modulo fotovoltaico a este conductor utilizando un conector de alambre listado.
- Apriete el tornillo de la placa fuertemente.

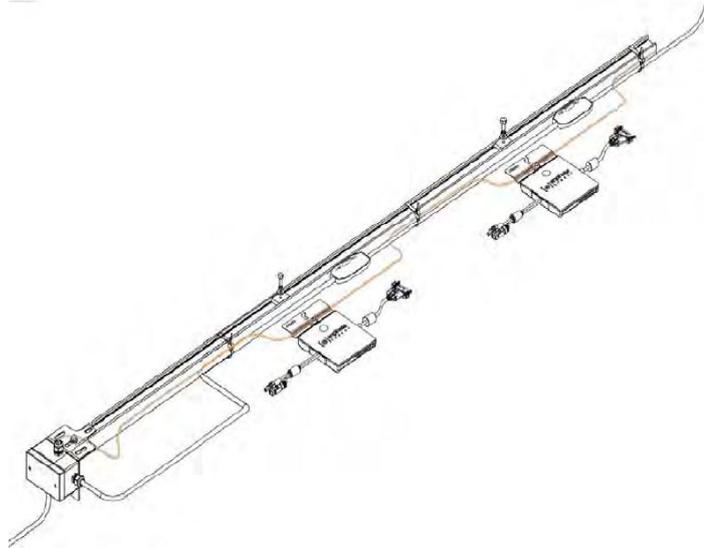


Figura 5.5: *Conexión del microinversor a tierra*
 Fuente: *Manual de Microinversores M250 y M215.* (2016)

Paso 6: Arrollamiento del cable Engage

- Instale el cable Engage en el gabinete por medio de abrazaderas de cable y bandas de sujeción.
- Arregle el cable para evitar un contacto con la loza de cubierta de la vivienda.

A continuación, observe la figura 5.6.

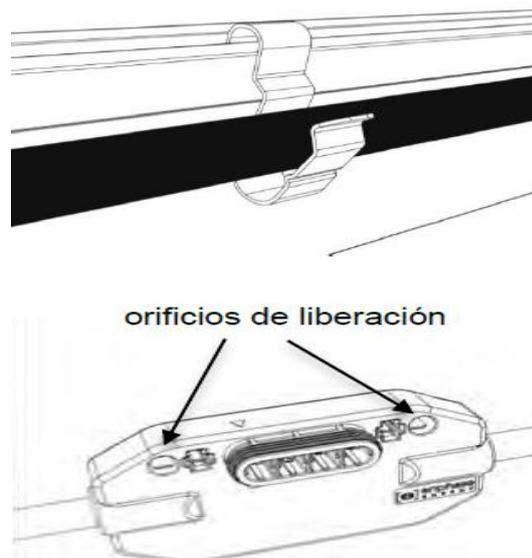


Figura 5.6: *Arrollamiento del cable Engage en el gabinete*
 Fuente: *Manual de Microinversores M250 y M215.* (2016)

Paso 7: Conecte los microinversores

- Retire los protectores del cable Engage y conecte el microinversor.
- Repita la acción con todos los microinversores del sistema solar fotovoltaico.
- Usar los capuchones de sellado en los conectores desocupados.
- Utilizar el acoplador Engage para conectar dos cables engage, y no omita los conectores del cable.

Paso 8: Empleo de la terminación del extremo sin usar el cable Engage

- Quite 6 cm del recubrimiento de los conductores.
- Revisar si no falta ninguna pieza del terminador.
- Inserte el extremo del cable completamente en el organizador de cables hasta el tope.
- Doble e inserte cada cable en los huecos del organizador de cables, y coloque el capuchón en el organizador de cables. Utilizar abrazaderas para acoplar el cable al gabinete fotovoltaico.
- Revisar que todos los cables estén conectados debajo del módulo fotovoltaico, por medio del acoplador de Engage.

Nota: en una instalación trifásica, los conectores de cable que no están en uso, crean un desequilibrio de fase en el circuito derivado. Debe instalar capuchones de sellado en todos los conectores de CA sin usar, y no reutilice los protectores de sellado.

Paso 9: Conexión del cable Engage a la caja de circuitos derivados en CA.

- Conecte el cable Engage en la caja de circuitos derivados en CA con una protección contra tirones.
- Conecte el cable Engage en una caja de conexiones adicionales, y utilícela como caja de paso para que el cable pase por el conducto situado entre los subconjuntos de paneles más pequeños.

En la siguiente tabla 5.1, se observa los colores de conductores para las diferentes conexiones de un SSFV.

Tabla 5.1: *colores de conductores para diferentes conexiones*

240 V CA, monofásico	208 V CA, trifásico
L1: Negro	L1: Negro
L2: Rojo	L2: Rojo
-----	L3: Azul
Detección: Púrpura o	Detección: Púrpura o
Neutro: Blanco	Neutro: Blanco
Tierra: Verde (EGC)	Tierra: Verde (EGC)

Fuente: *Manual de Instalación y Funcionamiento, Microinversores M250 y M215. (2016)*

En la figura 5.7, se muestra el gráfico de conexiones de los microinversores, ya sea en un sistema monofásico o trifásico.

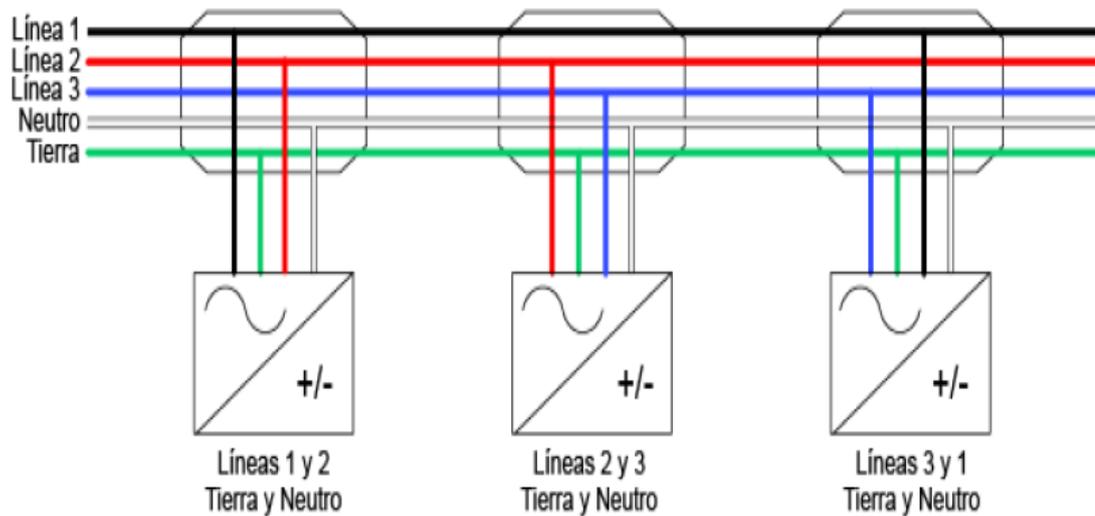


Figura 5.7: Gráfico de conexiones de los microinversores
Fuente: Manual de Microinversores M250 y M215. (2016)

Paso 10: Conecte los módulos fotovoltaicos

- Instale los microinversores debajo de cada módulo fotovoltaico.
El módulo fotovoltaico debe contar con cables de CC que se etiqueten como “alambre fotovoltaico” y tienen que cumplir con la norma NEC 690.35 (D). Esto es para equipos fotovoltaicos sin conexión a tierra, como el M250.
- Examine el LED situado en la parte trasera del microinversor para verificar si el inicio es normal. Cuando el LED emita el color verde, tiene un correcto funcionamiento, pero si aparecen otros colores, revise la siguiente tabla 5.2:

Tabla 5.2: señal de color LED del microinversor

Color del LED	Estado	Significado
Verde	Fijo	Inicio normal
	Intermitente	Transición al estado posterior al inicio
Rojo	Intermitente	Red eléctrica ausente (disyuntor apagado)
	Fijo	Inicio del microinversor fallido
Rojo/ Verde	Intermitente	Actualización del Enlighten

Fuente: Manual de Instalación y Funcionamiento, Microinversores M250 y M215. (2016)

Paso 11: Activación eléctrica del sistema

- Accione el disyuntor de CA de cada circuito derivador de CA de los microinversores.
- Energice el disyuntor principal de la red eléctrica principal. Después de cinco minutos de encendido el sistema, comienza a entregar energía eléctrica a las cargas.
- El microinversor se comunica por medio de los conductores hasta el Envoy. Su tiempo de espera, varía por la cantidad de microinversores presentes en el sistema. Programe y active el monitoreo de sistemas. Cuando termine de instalar los microinversores, revise el manual de instalación del Envoy y configure el sistema, para completar la instalación del sistema fotovoltaico.(Enphase Energy, 2016a)

5.2. Instalación del Envoy en el SSFV

Cuando se termina de instalar el microinversor Enphase; también, se debe configurar el portal de comunicaciones Envoy. Para una correcta instalación, se deben llevar a cabo una serie de pasos:

Paso 1: Pegar en el mapa, la etiqueta del número de serie del Envoy.

Paso 2: Registrar el Envoy en el sitio web Enlighten.

Paso 3: Establezca una ubicación fija para el Envoy.

Cuando ubique el sitio del Envoy, asegúrese que exista un tomacorriente cerca del centro de carga.

Paso 4: Conecte los cables de Ethernet y de alimentación en AC.

No hay que desconectar el Envoy de la fuente de energía en AC, si aparece en la pantalla LCD el mensaje: ‘Actualizando...No desenchufar’

Revise que los terminales de cada cable estén en óptimas condiciones, y arregle el tramo con agarraderas para que no quede expuesto a ningún accidente.

Paso 5: Examine la conexión a Internet

En la pantalla debe aparecer la indicación + Web. Si en 15 minutos posteriores no aparece, revise si el router está funcionando, en caso contrario, pulse el botón de menú del Envoy, y suelte cuando aparezca en la pantalla LCD ‘Obtener nueva dirección IP’; también, debe esperar otros 15 minutos más. Si lo anterior falla, desconecte el Envoy, espere 20 segundos y vuelva a conectarlo.

Paso 6: instale los microinversores y módulos

Cuando se termine de conectar los microinversores y los módulos fotovoltaicos, seleccione la opción “ArrayGun” para escanear los microinversores en el sitio web, o elabore el mapa manualmente.

Paso 7: Observe el avance del Envoy

- Realice una búsqueda automática de todos los microinversores instalados en el sistema.
En la pantalla LCD del Envoy, muestra el recuento completo del dispositivo después de unos 30 minutos. Cuando pasen los 30 minutos de espera, y no aparecen todos los microinversores, es recomendable cambiar de tomacorriente al Envoy. En caso de que el problema perdura por una hora, se llama al instalador del SSFV.
- Revise la comunicación de la línea eléctrica
En caso de que la pantalla muestre dos barras tras realizar la comprobación de comunicación, reubique el Envoy en otro tomacorriente más cercano al centro de carga.
- Suspenda la detección de los microinversores, cuando aparezcan todos los dispositivos en el sitio. Cuando se tiene presionado el botón de menú del Envoy, y aparece la opción desactivar la búsqueda en el dispositivo, en ese instante, deje de presionarlo, ya que evita la interferencia con algún sistema Enphase próximo.

Paso 8: Coloque el Envoy en la pared

Paso 9: diseñe el conjunto de paneles en Enlighten, y posteriormente, consulte el rendimiento del sistema.

Debe usar la opción “Array Builder” para crear el conjunto de módulos fotovoltaicos de forma virtual usando el mapa de instalación como referencia. (Enphase Energy, s. f.-b)

5.3. Mantenimiento de los equipos en el SSFV

5.3.1 Paneles solares fotovoltaicos

Requieren muy poco mantenimiento, al mismo tiempo el control de calidad de los fabricantes es general y rara vez presenta problemas. Dos aspectos a tener en cuenta primordialmente son, por un lado, asegurar que ningún obstáculo haga sombra sobre los módulos, y por el otro, mantener limpia la parte expuesta a los rayos solares de los módulos fotovoltaicos. Las pérdidas producidas por la suciedad pueden llegar a ser de un 5%, y se pueden evitar con una limpieza periódica adecuada.

El mantenimiento consiste en:

- Limpieza periódica del panel

La suciedad que se pueda acumular en el panel reduce su rendimiento, haciendo que la intensidad del sol sea menor en comparación con la cara limpia del módulo. Tiene una reducción de potencia no muy significativa. Las labores de limpieza se realizarán mensualmente o bien después de una lluvia de barro, u otros fenómenos meteorológicos similares.

Se utiliza agua (sin agentes abrasivos ni instrumentos metálicos). Preferiblemente se hará fuera de las horas centrales del día, para evitar cambios bruscos de temperatura entre el agua y el panel (sobre todo en verano). El proceso de limpieza depende de la capa de polvo puesta sobre el vidrio del módulo, en el caso de los depósitos procedentes de las aves conviene evitarlos poniendo pequeñas antenas elásticas que impidan que se posen.

- Inspección visual de posibles degradaciones (bimensualmente)

Se controlará que ninguna célula se encuentre en mal estado (cristal de protección roto, normalmente debido a acciones externas del ambiente).

Se comprobará que el marco del módulo se encuentra en correctas condiciones (ausencia de deformaciones o roturas).

- Control de la temperatura del panel (trimestralmente)

El instalador de los módulos, examinara mediante termografía infrarroja, que ningún punto del panel esté fuera del rango de temperatura permitido por el fabricante, sobre todo en los meses de verano.

- Control de las características eléctricas del panel (anualmente)

Se revisará el estado de las conexiones, entre otros:

- Ausencia de sulfatación de contactos.
- Ausencia de oxidaciones en los circuitos y soldadura de las células, normalmente
- Estructura soporte de los paneles

La estructura soporte de los módulos fotovoltaicos están fabricadas íntegramente con perfiles de aluminio y tornillería de acero inoxidable, por lo que no requieren mantenimiento anticorrosivo.

El mantenimiento de las mismas se realizará cada seis meses y consistirá en:

Anualmente:

- Comprobación de posibles degradaciones (deformaciones, grietas, etc).
- Comprobación del estado de fijación de la estructura a cubierta. Se controlará que la tornillería se encuentra correctamente apretada, controlando el par de apriete si es necesario. Si algún elemento de fijación presenta síntomas de defectos, se sustituirá por otro nuevo.
- *Sistema de cableado*

Comprobar la temperatura de conexiones mediante termografía infrarroja. En caso de que alguna conexión aparentemente correcta alcance una temperatura por

encima de 60 °C, se medirá la tensión e intensidad de la misma, controlando que está dentro de los valores normales. Si es necesario, sustituir dicha conexión.

Debido al peligro inminente por riesgo eléctrico, es imperativo realizar todas las operaciones de mantenimiento con las cajas desconectadas y sin tensión.(Campos Fernández, 2012)

5.3.2. Microinversores

Los microinversores son uno de los equipos más delicados de la instalación, y como tal requieren un cuidado adecuado. (Enphase Energy, 2016a)

Por ser cajas de aluminio herméticas, IP-55, casi no requieren de mantenimiento más exhaustivo. Si bien los intervalos de mantenimiento dependen del emplazamiento de estos y de las condiciones ambientales (polvo, humedad, etc).

Los trabajos de mantenimiento son los siguientes:

Cada mes:

- Revisión de la conexión del enchufe del microinversor con el adaptador del cable N12

Cada 6 meses:

- Limpieza de la parte externa del microinversor, para retirar el polvo impregnado

PARTE II APORTACIONES

CAPÍTULO 6

DISEÑO DEL SSFV CON VENTA A LA RED SIN RESPALDO DE BATERÍAS

6.1. Aplicaciones de la Energía Solar Fotovoltaica

En las aplicaciones de la energía solar fotovoltaica son muy diversas, y abarcan desde una pequeña calculadora hasta grandes centrales de energía fotovoltaicas. Las aplicaciones de la energía solar fotovoltaica se en dividen en dos partes:

- Sistemas aislados de la red eléctrica:

Almacenan la energía obtenida por los módulos fotovoltaicos y pueden ser utilizados en zonas remotas donde no llega el servicio eléctrico, ya sea por causas económicas, ambientales y de fiabilidad de suministro, no necesitan de una conexión a la red convencional. Además, este sistema goza de una gran flexibilidad, y posee múltiples aplicaciones como: electrificación rural, señalización, comunicaciones, bombeo de agua, etc. Ver en la figura 6.1.

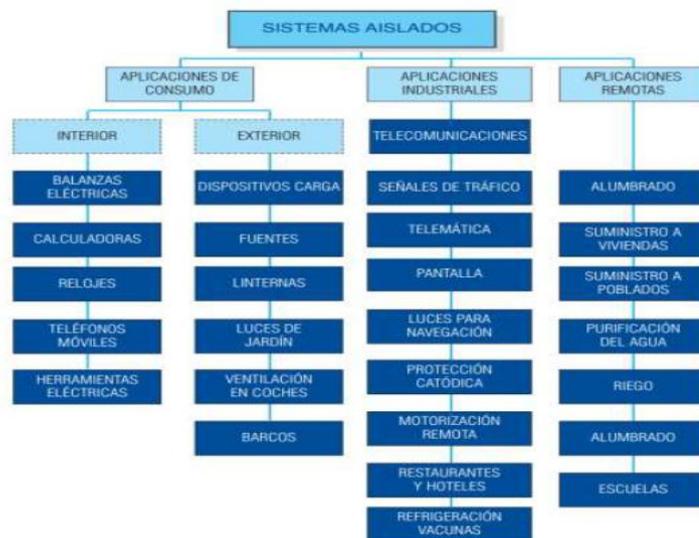


Figura 6.1: Aplicaciones de sistemas aislados
Fuente: Duran, Chico. (2016)

- Sistemas con conexión a la red eléctrica:

Propaga la electricidad por medio de los módulos solares fotovoltaicos, y suministran directamente a la red de distribución eléctrica. También, tiene dos divisiones: descentralizados y centralizados. Ver en la figura 6.2



Figura 6.2: Aplicaciones de sistemas conectados a red
Fuente: Duran, Chico. (2016)

Este diseño se enfoca en las aplicaciones de la energía solar fotovoltaica en el sector Domiciliario, en esa relación se establece una explicación de las clases de sistemas fotovoltaicos. Se dividen en dos partes:

- Instalaciones independientes de la red:

Proveen electricidad a sitios aislados, y son usuarios no interconectados debido a que por su ubicación geográfica y difícil acceso, impiden su conexión a la red pública. Estos sistemas son autónomos, ya que no están conectados a la red eléctrica, pero están equipados con baterías de acumulación para almacenar la energía producida por los módulos fotovoltaicos. Su conexión es para alimentar cargas en corriente continua, incluye un inversor independiente para conectar cargas en corriente alterna. Para ambos lados, es necesario tener un banco de baterías y un regulador de carga. Se representa dos tipos de aplicaciones:

- Alimentación de cargas en corriente directa (CD):

Se compone de:

- Módulos fotovoltaicos: Uno de los elementos que conforman el sistema solar fotovoltaicos, su función es transformar la radiación solar en energía eléctrica (corriente directa).
- Caja combinadora: los módulos fotovoltaicos se conectan en serie, paralelo y mixta, dependiendo del sistema en que se quiera configurar mediante este aparato.
- Protección en corriente CD: es instalada en la caja combinadora, para evitar algún perjuicio eléctrico a cualquier aparato conectado en la instalación, protege de voltajes o corrientes elevadas.
- Regulador de carga: la función de este aparato es equilibrar los valores de corriente y voltaje provenientes de los módulos fotovoltaicos como del banco de baterías (en caso, que las use), cuando el regulador manifiesta la sobrecarga de las baterías, desconecta los módulos, en cambio, si hay una sobredescarga, desconecta las cargas que consumen su energía.
- Banco de baterías: almacenan la energía generada por los módulos solares, y es utilizada en las horas de la noche.
- Protección para las baterías: dispositivo que protege la batería contra sobredescargas.
- Cargas en corriente CD: son cargas que el sistema fotovoltaico ha de satisfacer (iluminación, radio, bombas, etc). Los consumos de la carga determinan el tamaño del sistema; también, este tipo de cargas deben ser de 12 o 24 Vcc.

A continuación, examine en la figura 6.3, el sistema conectado a red en CC consta de: producción, acumulación y consumo. La producción consiste en módulos fotovoltaicos, en la parte de acumulación actúan el regulador de carga y el banco de baterías, y en consumo, se refiere a las cargas que se alimentan con corriente continua.

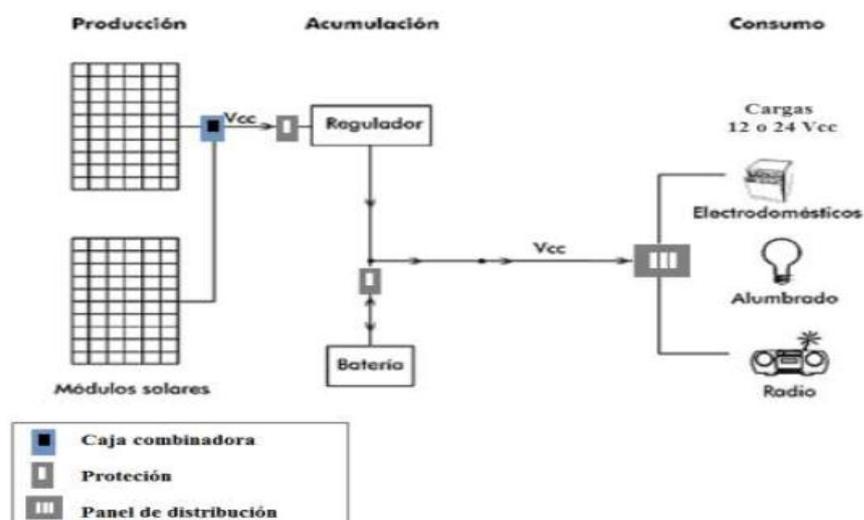


Figura 6.3: Aplicaciones de sistemas conectados a red en CC
Fuente: Duran, Chico. (2016)

- Alimentación de cargas en corriente alterna:

Se mantiene todos los elementos de la alimentación en corriente continua, pero se adiciona 3 nuevos componentes, como se observa en la figura 6.4:

- Inversor aislado: Dispositivo electrónico que convierte la energía de CD en CA, y son utilizados por las cargas de corriente alterna CA.
- Panel de distribución de corriente alterna CA: Elemento, con barras de distribución, que distribuye y alimenta diferentes cargas. Posee disyuntores, que protegen las cargas conectadas a la instalación.
- Cargas en CA: Los consumos del sistema fotovoltaico que satisfacen, sea por: iluminación, computador, TV, etc. Se considera que la cantidad del consumo, determina el tamaño del sistema solar SSFV.

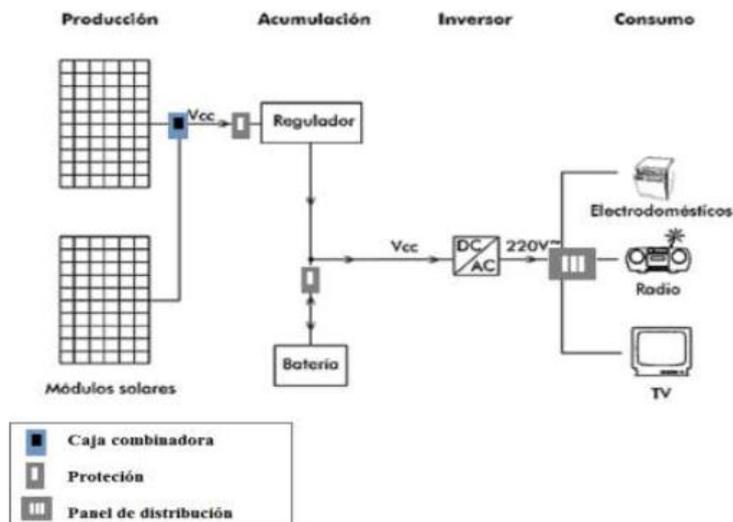


Figura 6.4: Aplicaciones de sistemas conectados a red en CA
Fuente: Duran, Chico. (2016)

- Instalaciones con conexión a la red:

Su función es aumentar la producción de energía eléctrica que es inyectada a la red. Esta instalación es empleada para los tejados, y lozas de cubierta, ya sea en residencias y/o en edificios, situándose cerca de la conexión a la red pública.

Tiene dos conexiones principales, no tiene vínculo a un banco de baterías para energizar cargas en corriente alterna y hace venta de KW-h a la red pública, la cual necesita de microinversores; y la otra, con conexión a un banco de baterías para

alimentar cargas en AC, con conexión de cargas críticas y venta a la red, dependiendo de un inversor central. (Durán Chico, 2016) .Se clasifica en:

- Venta a la red sin respaldo de baterías:

Esta instalación es más sencilla, económica y utilizada en la actualidad, y se conforma por: módulos fotovoltaicos, caja combinadora, cargas en CA, panel de distribución en CA, y utiliza otros elementos que se observan en la figura 6.5:

- Microinversor: elemento electrónico que transforma la energía de CD a CA directamente desde los módulos fotovoltaicos en onda sinusoidal pura, y manteniendo los valores de voltaje, corriente y frecuencia de la red eléctrica, para no ocasionar ningún inconveniente y poder exportar a la red pública.
- Portal de Comunicaciones (Envoy): dispositivo que permite el monitoreo remoto a tiempo real del funcionamiento del microinversor.
- Contador Digital bidireccional: Es un medidor que contabiliza la energía que se produce y la que se consume en la instalación para luego saber cuánto se debe pagar o recibir por la venta a la red pública.

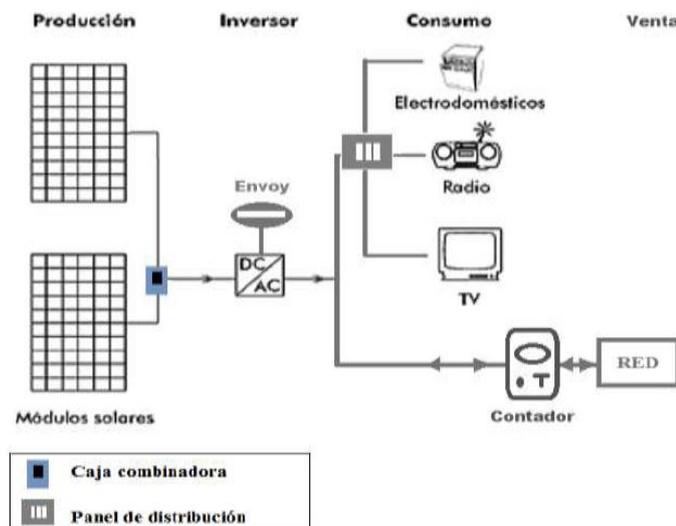


Figura 6.5: Venta a la red sin respaldo de baterías
Fuente: Duran, Chico. (2016)

- Venta a la red y conexión a un banco de baterías:

Es una unión de un sistema aislado junto con un sistema interactivo. Este sistema utiliza la red pública para cargar las baterías, y abastece de energía eléctrica en ocasión de que la electricidad de la red no esté presente. Se compone de: módulos

fotovoltaicos, caja combinadora, protección en CA, banco de baterías, protección para las baterías, regulador de carga, inversor bimodal, protección AC, panel de distribución, y contador bidireccional, para conexión con la red pública. Ver figura 6.6. (Durán Chico, 2016)

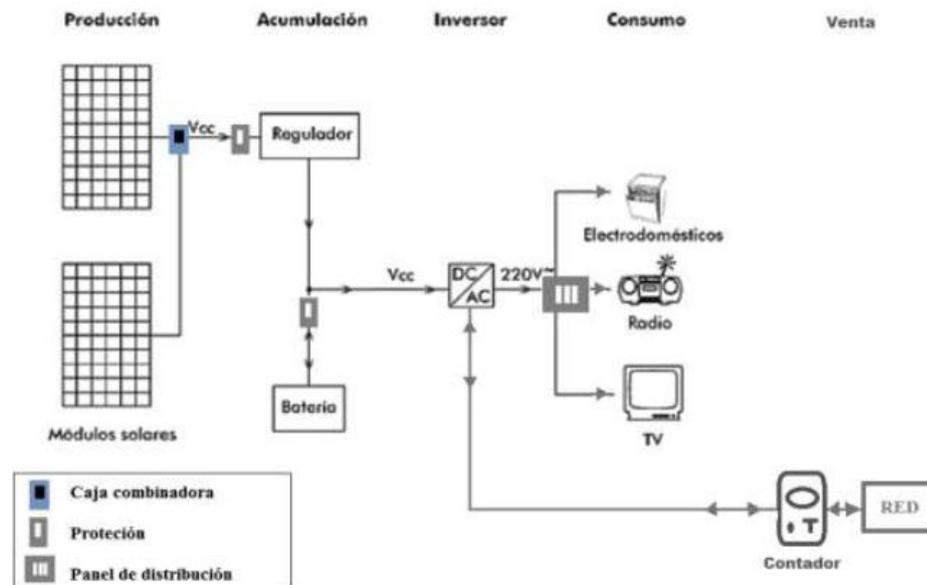


Figura 6.6: Venta a la red con respaldo de baterías
Fuente: Duran, Chico. (2016)

6.2. Medición del Funcionamiento de los Microinversores

Se realizó pruebas de funcionamiento, con mediciones en intervalos de cada $\frac{1}{4}$ de hora, en el Cantón Samborondón, parroquia satélite La Puntilla, para establecer el comportamiento eléctrico de los microinversores utilizados en el diseño propuesto de esta tesis. Ver en la figura 6.7.

- Ubicación de la prueba:

Coordenadas (UTM) : 17M 627033.98 m E , 9762766.52m S

En una vivienda de la Urb. Parques del Rio, MZ.-1 solar-169, está instalado un sistema solar fotovoltaico, con microinversores y se midió en un día, la producción

de energía de los microinversores M215 y M250. Con estos datos tomados a partir desde las 6:15 am hasta las 6:30 pm, de un día, del mes de Julio.

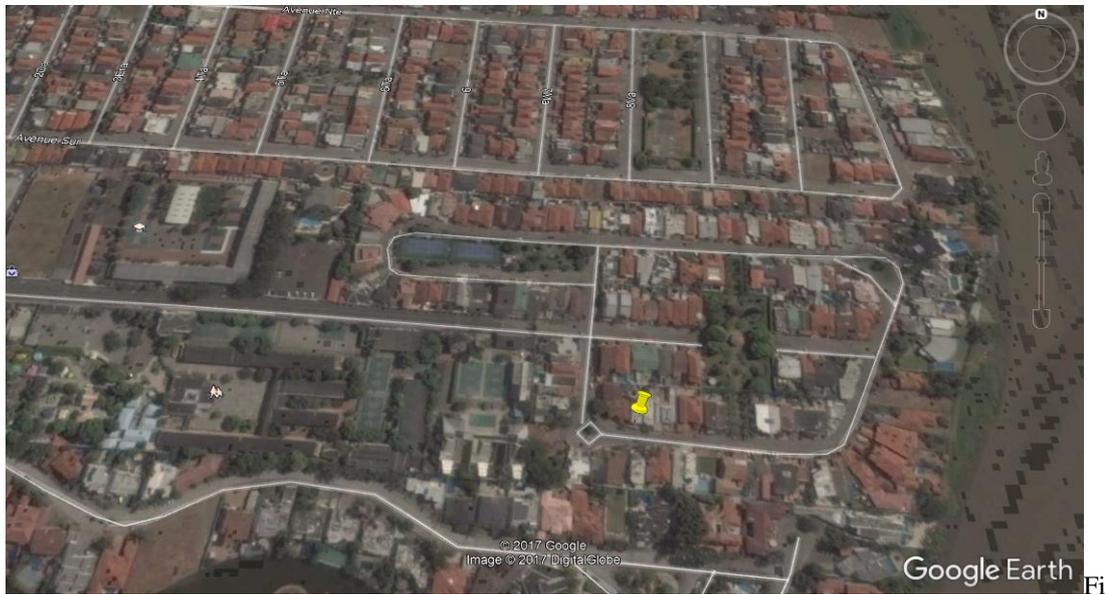


Figura 6.7: Ubicación del sitio de la prueba.
Fuente: Autor

Los datos fueron tomados en un intervalo de tiempo de 15 minutos, se utilizó la pinza amperimétrica UNI-T 233.

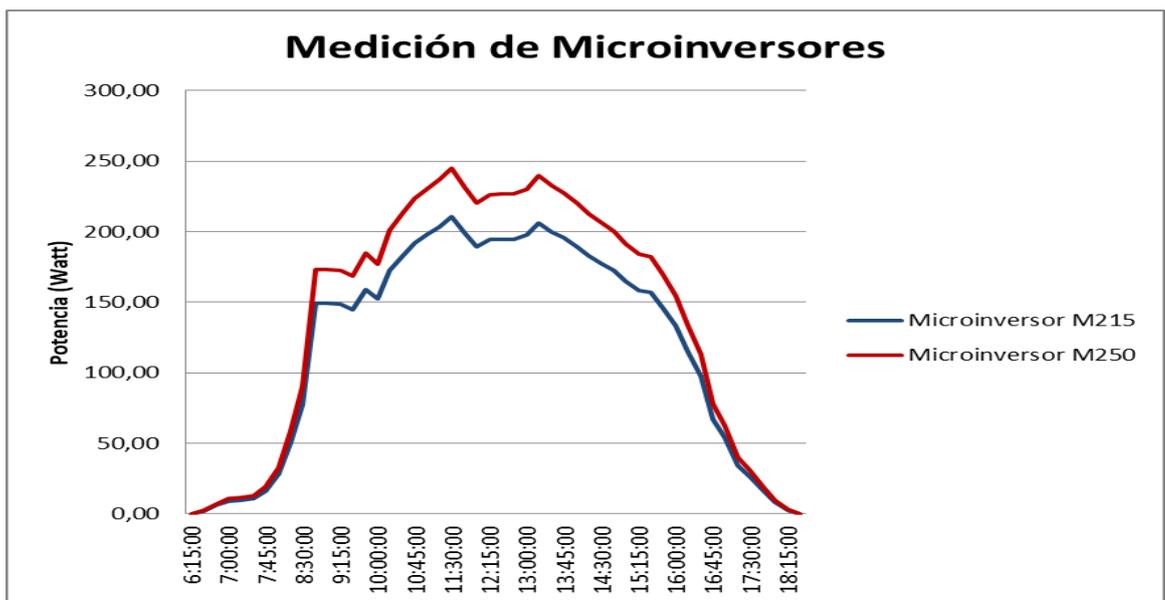


Figura 6.8: Medición de la generación en salida del microinversor M-250
Fuente: Autor

En la figura 6.8, se muestra la gráfica de medición de la generación en salida del microinversor M215 y M250. Ambas curvas, poseen 4 importantes picos en donde reciben las horas sol pico del día. Inicia a partir desde las 11:00 am hasta las 14:00 pm. Examinando los datos de potencia obtenidos en la medición, como se ve en la tabla 6.1, en un rango de 15 minutos desde las 6:15 am hasta las 18:30 pm, se determina los kWh generados por cada microinversor.

Tabla 6.1: Datos de curva de generación de energía eléctrica en M-250

Timestamp	WH SISTEM A	W SISTEM A	W-1 MICRO 215	W-1 MICRO 250
			X PANEL	X PANEL
6:15:00	0,00	0,00	0,00	0,00
6:30:00	5,79	23,17	1,87	2,18
6:45:00	19,44	77,78	6,29	7,31
7:00:00	28,55	114,18	9,23	10,73
7:15:00	30,61	122,46	9,90	11,51
7:30:00	33,92	135,70	10,97	12,75
7:45:00	50,47	201,89	16,32	18,97
8:00:00	88,12	352,48	28,49	33,13
8:15:00	155,97	623,88	50,43	58,64
8:30:00	239,95	959,81	77,58	90,21
8:45:00	460,46	1841,84	148,87	173,11
9:00:00	460,46	1841,84	148,87	173,11
9:15:00	459,22	1836,88	148,47	172,64
9:30:00	447,64	1790,54	144,72	168,28
9:45:00	491,08	1964,30	158,77	184,61
10:00:00	470,80	1883,22	152,21	176,99
10:15:00	533,69	2134,75	172,55	200,63
10:30:00	566,37	2265,48	183,11	212,92
10:45:00	594,09	2376,36	192,07	223,34
11:00:00	613,53	2454,14	198,36	230,65
11:15:00	630,08	2520,33	203,71	236,87
11:30:00	650,77	2603,07	210,40	244,65
11:45:00	616,02	2464,07	199,16	231,59
12:00:00	585,40	2341,61	189,27	220,08
12:15:00	600,71	2402,84	194,21	225,83
12:30:00	602,36	2409,46	194,75	226,45
12:45:00	602,36	2409,46	194,75	226,45
13:00:00	611,88	2447,52	197,83	230,03
13:15:00	637,53	2550,12	206,12	239,67
13:30:00	618,09	2472,34	199,83	232,36
13:45:00	605,26	2421,04	195,69	227,54
14:00:00	585,40	2341,61	189,27	220,08
14:15:00	565,54	2262,17	182,84	212,61
14:30:00	549,41	2197,64	177,63	206,54
14:45:00	532,86	2131,44	172,28	200,32
15:00:00	509,28	2037,12	164,65	191,46
15:15:00	489,42	1957,68	158,23	183,99
15:30:00	484,87	1939,48	156,76	182,28
15:45:00	452,19	1808,75	146,20	170,00
16:00:00	411,23	1644,92	132,95	154,60
16:15:00	355,79	1423,17	115,03	133,76
16:30:00	300,77	1203,07	97,24	113,07
16:45:00	208,10	832,39	67,28	78,23
17:00:00	166,73	666,90	53,90	62,68
17:15:00	105,91	423,64	34,24	39,82
17:30:00	81,91	327,66	26,48	30,80
17:45:00	51,71	206,86	16,72	19,44
18:00:00	24,82	99,29	8,03	9,33
18:15:00	7,86	31,44	2,54	2,96
18:30:00	0,41	1,65	0,13	0,16
KWH DIARIOS	18,39		1,49	1,73
KWH/DIA EQUIPO			20,82	24,20
KWH/MES EQUIPO				726,11

Fuente: Autor

En la tabla 6.1, se obtuvo un valor de generación eléctrica diaria de 1,49KW-h con el Microinversor M-215 por panel solar y 1,73KW-h por panel solar en un día con el Microinversor M-250.

Entre los dos, el mejor microinversor por sus características y potencia de salida es el M250, por lo que decidimos utilizarlo por su mayor eficiencia en nuestro diseño.

Y utilizándolo en nuestro Sistema Solar SSFV de 14 paneles solares, nos da una generación eléctrica de 24,20 KW-h/día/panel con M-250.

Si consideramos, que la generación diaria por panel con micro M-250 del Sistema Solar SSFV, se proyecta por 365 días y por 25 años, con un factor de envejecimiento estimado del sistema de 85% y un aprovechamiento o eficiencia eléctrica de 80% (para el Cantón Samborondón, (6 meses buenos y 3 meses malos), vamos a tener una generación eléctrica anual de 10.727,45 KW-h/año/panel.

Y por el equipo completo del Sistema SSFV de 14 paneles, tenemos:

- Generación eléctrica anual del Equipo-14 paneles : 6.007,37 KW-h/año
- Generación eléctrica mensual del Equipo-14 paneles: 500,61 KW-h/año

6.3. Cálculo del Sistema Solar Fotovoltaico SSFV

Para el cálculo del sistema Solar Fotovoltaico SSFV básico, se creó el diseño de una casa modelo del sector, con una carga instalada aproximada de 11,48KW. Ver el ANEXO 5, Planilla de Circuitos de la Vivienda.

Con la carga instalada o parte de ella, se determina la potencia del equipo en KW y el número de microinversores a instalarse junto a los módulos fotovoltaicos.

Vamos a trabajar con un microinversor M250 de Enphase, por lo que presentamos sus características eléctricas, en la tabla 6.2.

Tabla 6.2: Características eléctricas del M250 de Enphase

M250 Micro-inversor de Enphase	
Número de Celdas por panel	60-72
Máxima Potencia de Entrada	300 W STC
Salida de Potencia y corriente	240 W CEC/AC 1A a 240 V/ 1φ 1,15A a 208V/3φ
Voltaje Nominal	240/211 – 264 V ac 208/183,229
Rango de Voltaje	16 V – 48V

Fuente: *Cálculo de una instalación solar fotovoltaica para autoconsumo en vivienda. (2014)*

En la tabla 6.3, se observa las características técnicas del microinversor M250 de Enphase

Tabla 6.3: Características técnicas del M250Enphase

M250 para 240 y 208 V AC	
Número de células por módulo	60 Células
Máxima Potencia de Entrada	300 W STC
Potencia de Salida y Corriente	240 W CEC/AC 1A a 240 V 1,15A a 208V
Máximo Número de microinversores en un circuito de 20 A	16 Monofásicos – 240 V 24 Trifásicos – 208V

Fuente: *Cálculo de una instalación solar fotovoltaica para autoconsumo en vivienda. (2014)*

La demanda de la vivienda es de 11,48KW, se escogerá aproximadamente un 30% de carga eléctrica para ser alimentada por el equipo del Sistema solar fotovoltaico SSFV.

$$Dem. del Sistema SFV = (11,48 KW) * (0,30) = 3,444 KW$$

Luego, se hace una relación entre la demanda del Sistema SSFV y la potencia de salida del microinversor M250, obteniendo el número de microinversores:

$$Número de microinversores = \frac{3,444 KW}{240 W} = 14,35$$

El número de microinversores M250 que conformaran el circuito del Sistema Solar Fotovoltaico serán 14 dispositivos. En este diseño modelo, se escogerá 14 microinversores M250 de Enphase.

Los módulos fotovoltaicos, pueden conectarse al M250 de Enphase, siempre y cuando, sus potencias estén en el rango de 210 W hasta 350 W, que nos da la hoja de características del M250 que se encuentra en el ANEXO 2.

Los microinversores se conectan en paralelo y constan de:

Tabla 6.4: Líneas de alimentación del Sistema Fotovoltaico

L1	Negro
L2	Rojo
Neutro	Blanco
Tierra	Verde

Fuente: *Cálculo de una instalación solar fotovoltaica para autoconsumo en vivienda. (2014)*

El calibre de los cables es de 12 AWG, y va desde los microinversores hasta la caja de conexiones.

- Cálculo de la corriente del circuito

$$I_{\text{circuito}} = \frac{P_{\text{Máx M250}}}{V_{\text{AC M250}}} = \frac{240 \text{ W}}{240 \text{ V}} = 1 \text{ A}$$

- Cálculo de la protección:

$$I_{\text{disyuntor}} = 1,25 * (16 * I_{\text{circuito}}) = 1,25 * 16 * 1 \text{ A} = 20 \text{ A}$$

Se emplea como protección del sistema SSFV, un disyuntor de 2 polos a 20 A. En un circuito se puede instalar de 1 a 16 microinversores de una demanda máxima de hasta 4 KW.

El cable que conecta el disyuntor de 2P – 20 A hasta la caja de conexiones es N° 10 AWG.

Para el cálculo de Caída de voltaje, se debe cumplir que en la instalación del sistema solar fotovoltaico, no debe exceder el 2%. Ver en la tabla 6.5.

Tabla 6.5: Valores de caída de voltaje y corriente

Microinverters per Branch in Portrait																
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
VRise	0.010 .01	0.04	0.08	0.14	0.21	0.30	0.40	0.51	0.64	0.78	0.93	1.10	1.29	1.48	1.69	1.92
%	0.01	0.02	0.04	0.06	0.09	0.12	0.16	0.21	0.26	0.32	0.39	0.46	0.54	0.62	0.71	0.80
Current	1.00	2.00	3.00	4.00	5.00	6.00	7.00	8.00	9.00	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00

Fuente: *Cálculo de una instalación solar fotovoltaica para autoconsumo en vivienda. (2014)*

Datos:

- Corriente M250 = 1 A
- Calibre de cable para el circuito = 10 AWG Cu
- Resistencia del cable 10 AWG = $0,00124 \Omega/ft$
- Longitud de cada circuito = 25 ft

Nota: se escoge una longitud óptima de 25 ft

- Cálculos de caída de voltaje (V rise)

$$V_{rise} = (\text{Amperios} * \#\text{demicroinversores}) * \left(\text{resistencia} \frac{\Omega}{ft} \right) * 2\text{lineas}$$

$$V_{rise} = (1 * 14) * (0,0124 * 50) = 0,868 V$$

$$\% V_{rise} = \frac{0,868 V}{240 V} * 100 = 0,36\%$$

Nota: No exceder los valores impuestos en la tabla. (Flores, 2014)

Para eliminar el problema de la caída de voltaje, se puede elegir cualquiera de estos requerimientos: cable de mayor calibre, disminuir el número de microinversores por circuitos y dividir circuitos

6.4. Análisis Económico

Para establecer el presupuesto económico del proyecto, estableceremos los costos de los materiales y equipos, Mano de Obra y Dirección Técnica del montaje,

la rentabilidad y el período de recuperación de la inversión, en base a la tarifa del kWh de la Empresa Eléctrica CNEL-EP.

- Materiales y equipos

En la siguiente tabla 6.6, se muestra la lista de los precios de los materiales y equipos que se utilizarán en la construcción del Sistema Solar Fotovoltaico SSFV.

Tabla 6.6: Precio de los equipos del SSFV en el exterior (EEUU)

Kit 3,5 kW			
14	Base de Módulo fotovoltaico	\$ 52,00	\$728,00
14	Módulo fotovoltaico de 250 W	\$130,50	\$1827,00
14	Microinversor M250 Enphase	\$135,00	\$1890,00
15	Adaptador para cable con conectores Enphase	\$28,00	\$420,00
1	Kit de instalación Enphase	\$69,44	\$69,44
14	Uniones WEEB Bonding Washer	\$2,25	\$31,50
48	Clips para Cable Enphase	\$1,00	\$48,00
1	Disyuntor de 2 polos a 20 A	\$50,00	\$50,00
1	Caja de conexiones AC	\$80,00	\$80,00
1	Portal Comunicaciones Envoy	\$490,00	\$490,00
Total			\$5633,94

Fuente: Autor

El precio del equipo importado desde los Estados Unidos es \$5633,94.

- Costo Total

A continuación, en la tabla 6.7, se muestran los costos totales de la construcción del SSFV. Es el precio total del Kit de 3,5 kW en el Ecuador. Sus impuestos son:

- Ex Words (EXW)
- Fob (Free on board)
- Docum (Documento único de salida)
- Flete
- Cfr (Coste y flete)
- Seguro
- Cif (Coste, Seguro y flete)
- Ad valorem
- Fod (Fodensa)

Tabla 6.7: Precio total del Kit 3,5kW en Ecuador

Kit 3,5 kW	
EXW (Ex Works)	\$ 5633,94
Fob (Free on board)	\$5915,64
Docum (Documento único de salida)	\$3,41
Flete	\$786,79
Cfr (Coste y flete)	\$6705,83
Seguro	\$67,06
Cif (Coste, Seguro y flete)	\$6772,89
Ad valorem	\$474,10
Fod (Fodensa)	\$33,86
5% de salida de Capital	\$338,64
Base impo.	\$7619,50
Utilidad	\$2285,85
Total (Ecuador)	\$9905,35

Fuente: Autor

Los valores descritos, incluyen el transporte y el impuesto al valor agregado (IVA). Se tomaron en cuenta valores reales para la construcción del SSFV.

Tabla 6.8: Presupuesto del Kit 3,5kW

Presupuesto	
Total de Equipos	\$9.905,35
M. Obra.+ D. Técnica	\$2.476,34
Total	\$12.876,96

Fuente: Autor

El presupuesto consiste en el total de los equipos y la mano de obra con su dirección técnica, su valor es \$12.876,96. Ver en la tabla 6.8.

Tabla 6.9: Proyecto Renovable Solar Fotovoltaico

Proyecto Eléctrico Renovable Solar Fotovoltaico		
Capacidad instalada Pico	3,5	kW
Horas pico Solar Media	4,7	H
Inversión	3537,63	\$/kW
Energía Estimada	6007,26	kWh/año
Precio kWh/mes	0,6812	\$/kWh
Costos fijos	150	\$/año
Costos variables	0	\$/kWh
Tasa de descuento	12,00%	
Año de instalación	2018	

Fuente: Autor

En el Anexo 7 y en la tabla 6.9, se muestra los beneficios por año de la inversión en el Kit de 3,5 kW.

Producción Gen. en 25 años-1 panel	(kWh)	10727,45
Precio por Panel	(\$/panel)	\$ 884,41
Relación \$/KWH panel 0,0824 cumple que Tcnel es > Tgen panel		
Producción Gen. en 1 años-1 panel	(kWh)	429,10 KW-h/Año
Producción Gen. en 1 años-EQUIPO	(kWh)	6007,37 KW-h/Año
		Kit 3,5 kW
		14 PANELES
MAT.	\$	9.905,35
M.O +D.T	\$	2.476,34
T. EQUIPO	\$	12.381,69

Figura 6.9: Cálculos del Proyecto Eléctrico Renovable Solar Fotovoltaico.

Fuente: Autor

En la figura 6.9, se observa que la producción de generación de un panel fotovoltaico en 25 años es de 10.727,45 kWh/año, y el precio por panel del equipo es de \$884,41, se crea una relación para obtener la tarifa de generación del SSFV, su valor es 0,0824 \$/kWh. Este valor de la tarifa de generación del Sistema SSFV es menor a la tarifa mínima residencial de CNEL con un valor de 0,0910 \$/kWh, por lo tanto, se hace viable la inversión de este proyecto.

La producción de generación del SSFV en un año es de 6.007,37 kWh/panel/año.

TRAFIO MES	SI	SI O NO DEL 1 AL 12	KWH MENSUAL	KWH	\$
0	6 al 11				
50	0,09100		50,00		\$ 4,55
100	0,09300		50,00		\$ 4,65
150	0,09500		50,00		\$ 4,75
200	0,09700		50,00		\$ 4,85
250	0,09900		50,00		\$ 4,95
300	0,10100		50,00		\$ 5,05
350	0,10300		50,00		\$ 5,15
500	0,10500		150,00		\$ 15,75
700	0,12850		200,00		\$ 25,70
1000	0,14500		300,00		\$ 43,50
1500	0,17090		500,00		\$ 85,45
2500	0,27520		1000,00		\$ 275,20
3500	0,43600		1000,00		\$ 436,00
9999	0,68120		3500,00		\$ 2.384,20
TOTAL			7000,00		\$ 3.299,75
0	12 al 5				
50	0,09100		50,00		\$ 4,55
100	0,09300		50,00		\$ 4,65
150	0,09500		50,00		\$ 4,75
200	0,09700		50,00		\$ 4,85
250	0,09900		50,00		\$ 4,95
300	0,10100		50,00		\$ 5,05
350	0,10300		50,00		\$ 5,15
500	0,10500		150,00		\$ 15,75
700	0,10500		200,00		\$ 21,00
1000	0,14500		300,00		\$ 43,50
1500	0,17090		500,00		\$ 85,45
2500	0,27520		1000,00		\$ 275,20
3500	0,43600		1000,00		\$ 436,00
9999	0,68120		3500,00		\$ 2.384,20
TOTAL			7000,00		\$ 3.299,05

PLANILLA PROYECTADA EN VERANO			
CONSUMO			\$ 3.299,75
COMERCIALIZACION			\$ 1,41
SUBSIDIO SOLIDARIO			\$ 330,12
ALUM PUBLICO			\$ 495,17
IMPUESTO DE BOMBEROS			\$ 1,59
TASA RECOLECCION DE BASURA			\$ 330,12
TOTAL			\$ 4.428,16

PLANILLA PROYECTADA EN INVIERNO			
CONSUMO			\$ 3.295,05
COMERCIALIZACION			\$ 1,41
SUBSIDIO SOLIDARIO			\$ 329,65
ALUM PUBLICO			\$ 494,47
IMPUESTO DE BOMBEROS			\$ 1,59
TASA RECOLECCION DE BASURA			\$ 329,65
TOTAL			\$ 4.451,82

PLANILLA ACTUAL			
JUN a NOV	DIC a MAY	KWH	\$/Mes
\$ 4.458,16	\$ 4.451,82	7000	\$ 4.454,99

PLANILLA PROYECTADA			
JUN a NOV	DIC a MAY	KWH	\$/Mes
\$ 1.192,24	\$ 1.185,90	3500	\$ 1.189,07

EXCEDENTE A GENERAR		
KWH	\$	\$/KWH
3500,00	3265,92	\$ 0,9331

Figura 6.10: Cálculo de planilla para mes de Verano e Invierno.

Fuente: Autor

A continuación, se observa en la figura 6.10, en el caso de un usuario que consume al mes, 7000 kWh, paga una planilla promedio de \$4.454,99. El usuario cada mes se ubica en el nivel de la tarifa superior residencial que es \$0,6812 \$/kWh. El objetivo del sistema es reducir los 3500 kWh de exceso que tiene el cliente, recordando que el Sistema Solar Fotovoltaico de 3,5 kW genera al mes 500,61kWh/mes, se necesitan 7 equipos de 3,5 kW para generar 3500kWh/mes para reducir el consumo mensual del usuario. El valor total de este equipo es de \$86.671,83 que requiere:

- 2 Sistemas trifásicos 3X3,5 kW a 220V- Trifásico
- 1 Sistema monofásico 1x3,5 kW a 220V- Monofásico.

En la planilla del siguiente mes, su valor es de \$1.189,07 al mes, y el beneficio económico para el usuario es de \$3171,42/mes, ya que con este valor económico, puede cancelar rápidamente en la inversión del Sistema de 24,5 kW. El usuario termina de cancelar el sistema SSFV de 24,5 kW en 2 años y 3 meses. En el caso del usuario de la vivienda modelo, con una carga de 11,48KW y un consumo de energía eléctrica de 1.600KW-h/mes, con la instalación del sistema Solar SSFV, se ahorraría \$ 111,52/mes y al año \$ 1.338,30, por lo que el Sistema Solar SSFV de 3.5KW-1F sería entre los 9 y 10 años. Ver en la figura 6.11. Con respecto al uso del medidor bidireccional, la ARCONEL y CNEL – EP, no han pronunciado ningún documento a favor de su instalación. Este sistema opera con medidores especiales que leen lecturas de más de 3500 kWh. En el anexo 4, se ve un ejemplo de los kWh de una casa modelo.

<i>KW-h/Mes</i>	<i>PLANILLA REAL</i>	<i>KWH EQUIPO SSFV</i>	<i>N. PLANILLA</i>	<i>AHORRO/MES</i>	<i>COSTO/KW-h SISTEMA SSFV</i>
1200	\$ 210,15	500	\$ 105,28	\$ 104,87	\$ 0,1498
1600	\$ 316,52	500	\$ 187,08	\$ 129,44	\$ 0,1177
2000	\$ 465,13	1000	\$ 164,01	\$ 301,12	\$ 0,3011
2500	\$ 650,89	1000	\$ 279,37	\$ 371,52	\$ 0,2477
3000	\$ 945,19	1000	\$ 465,13	\$ 480,06	\$ 0,2400
3500	\$ 946,19	1500	\$ 465,13	\$ 481,06	\$ 0,2405
4000	\$ 1.699,30	2000	\$ 465,13	\$ 1.234,17	\$ 0,61709
5000	\$ 2.618,92	2000	\$ 945,19	\$ 1.673,73	\$ 0,5579
6000	\$ 3.538,54	3000	\$ 1.699,30	\$ 1.839,24	\$ 0,6131
7000	\$ 4.458,16	3500	\$ 1.239,49	\$ 3.218,67	\$ 0,920

Figura 6.11: Utilización del Sistema Solar SSFV para usuarios con diferentes rangos de consumo de kWh

Fuente: Autor

A continuación, en la figura 6.12, se observa los valores de tarifa residencial en las épocas de verano e invierno.

CONELEC		2017	
PERIODO JUNIO-NOVIEMBRE (VERANO)			
EMPRESA ELÉCTRICA CNEL CARGOS TARIFARIOS			
RANGO DE CONSUMO	DEMANDA (USD/kW)	ENERGÍA (USD/kWh)	COMERCIALIZACIÓN (USD/consumidor)
CATEGORÍA RESIDENCIAL			
NIVEL TENS: BAJA Y MEDIA TENSIÓN			
0-50		0,09100	
51-100		0,09300	
101-150		0,09500	
151-200		0,09700	
201-250		0,09900	1,414
251-300		0,10100	
301-350		0,10300	
351-500		0,10500	
501-700		0,12850	
701-1000		0,14500	
1001-1500		0,17090	
1501-2500		0,27520	
2501-3500		0,43600	
Superior		0,68120	1,414
RESIDENCIAL TEMPORAL			
		0,11850	1,414

Figura 6.12: Tarifa Residencial de la época de verano
Fuente: ARCONEL. Pliego Tarifario para las Empresas Eléctricas. (2016)

En la figura 6.13, se muestra la gráfica de la tarifa residencia de consumo en la época de verano.

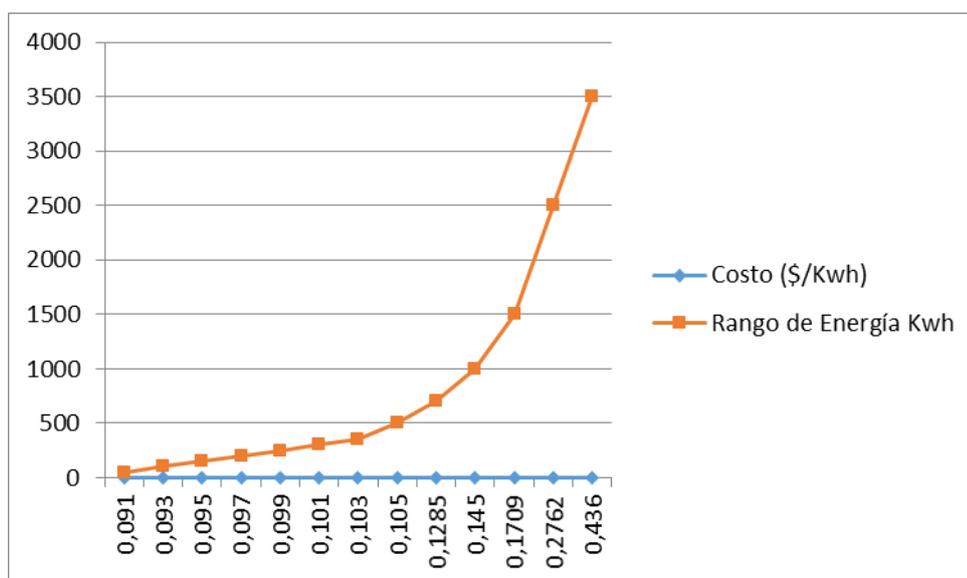


Figura 6.13: Gráfica de Tarifa Residencial de consumo en la época de verano
Fuente: ARCONEL. Pliego Tarifario para las Empresas Eléctricas. (2016)

En la figura 6.14, se muestra la gráfica de consumo en la época de invierno.

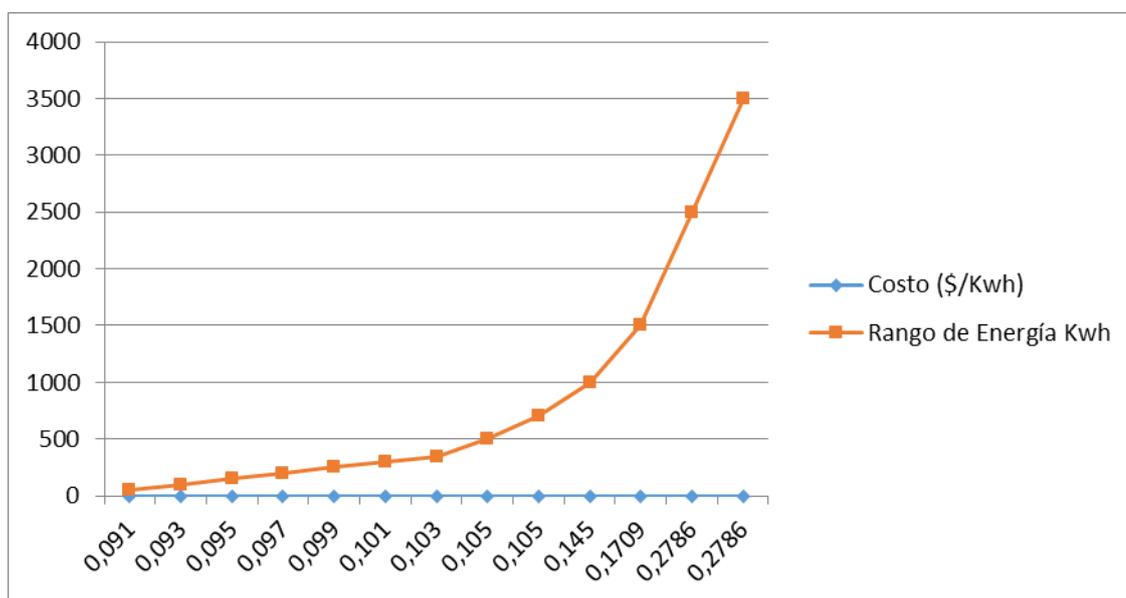


Figura 6.14: Gráfica de consumo en la época de invierno
Fuente: ARCONEL. *Pliego Tarifario para las Empresas Eléctricas.* (2016)

En la figura 6.15, se enseñan los valores de la tarifa residencial en la época de invierno.

CONELEC		2017	
PERIODO DICIEMBRE-MAYO (INVIERNO)			
EMPRESA ELÉCTRICA CNEL			
CARGOS TARIFARIOS			
RANGO DE CONSUMO	DEMANDA (USD/kW)	ENERGÍA (USD/kWh)	COMERCIALIZACIÓN (USD/consumidor)
CATEGORÍA RESIDENCIAL			
NIVEL TENSIÓN BAJA Y MEDIA TENSIÓN			
0-50		0,09100	
51-100		0,09300	
101-150		0,09500	
151-200		0,09700	
201-250		0,09900	1,414
251-300		0,10100	
301-350		0,10300	
351-500		0,10500	
501-700		0,10500	
701-1000		0,14500	
1001-1500		0,17090	
1501-2500		0,27520	
2501-3500		0,43600	
Superior		0,68120	1,414
RESIDENCIAL TEMPORAL			
		0,11850	1,414

Figura 6.15: Tarifa Residencial en la época de Invierno
Fuente: ARCONEL. *Pliego Tarifario para las Empresas Eléctricas.* (2016)

CAPÍTULO 7

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1 Conclusiones

El uso de sistemas SSFV para generación de energía eléctrica para cargas parciales en las ciudades del litoral ecuatoriano, se hace factible por ser hoy en día, una generación limpia, sin emisión de CO₂, que no afecta al ambiente y su uso se ha generalizado en el planeta y en nuestro país, por la implementación de esa tarifa residencial.

La energía solar que incide sobre el panel solar, y su transformación en energía eléctrica depende de las características constructivas de sus células fotovoltaicas, ubicación, el clima y el ángulo de inclinación de los paneles respecto al terreno.

Los microinversores, son aparatos electrónicos, para la conexión a la red eléctrica, deben de cumplir exigencias técnicas, como bajo nivel de distorsión armónica, contar con dispositivo de desconexión en caso de pérdida de red y protecciones de estabilidad de la tensión de salida entregada en el punto de conexión.

Para el sistema SSFV de una residencia con Tarifa Residencial, cuyo consumo este entre 2500-3000KW-h, utilizando un equipo de 3.5KW., el tiempo de recuperación de la inversión será de 3 años y meses, a una tasa de interés de 12 %.

En casos de consumidores más grandes, o sea clientes residenciales con consumos mayores a 5.000KW-h, se podrán utilizar 3 equipos kit-14 paneles para el sistema SSFV de una residencia, que podría ser conectado en forma trifásica para suministrar 208-220V, al sistema conectado con el medidor bidireccional.

7.2. Recomendaciones

Para el diseño de un sistema SSFV se debe tener presente las características técnicas de los paneles solares con alto contenido de silicio, microinversores, adaptadores, conectores, cables de calibre adecuados, para minimizar el efecto joule y portal de comunicaciones, que hagan que su costo esté de acuerdo con la confiabilidad, continuidad y eficiencia del sistema.

El Estado, debe fomentar este tipo de generación eléctrica limpia con sistemas SSFV, implementado subsidiarios en la importación de los paneles solares, micro inversores y accesorios a fin de abaratar los costos del sistema y hacerlo más accesible a los ecuatorianos.

Se debe desarrollar Programas de Educación en todo el país, para dar a conocer el uso y aplicaciones de estos equipos de generación de energía eléctrica no-convencional, utilizando estos sistemas SSFV.

El uso de estos sistemas SSFV, fomenta el ahorro, la confiabilidad, continuidad y eficiencia de la energía eléctrica, por lo que se constituye en una alternativa eficaz para la solución de problemas de falta de electricidad en lugares apartados, donde no llega el servicio eléctrico de las empresas.

BIBLIOGRAFÍA

APPA (Asociación de Empresas de Energías Renovables). (2009). ¿Qué es la biomasa? Recuperado a partir de http://www.appa.es/04biomasa/04que_es.php

Campos Fernández, M. (2012). Manual de mantenimiento, Planta Solar Fotovoltaica de 500kW sobre la cubierta de una nave industrial en la ciudad de Sevilla. Recuperado a partir de <http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/5074/fichero/Volumen+5%252F9.+Manual+de+Manteminiento.pdf>

CONELEC. (2008). Atlas Solar del Ecuador con fines de Generación Eléctrica. Recuperado a partir de <http://biblioteca.olade.org/opac-tmpl/Documentos/cg00041.pdf>

Domínguez González, H. (2012). *Diseño de un Sistema Fotovoltaico para la generación de Energía Eléctrica en el Cobaev 23 Xalapa* (Tesis). Universidad Veracruzana, México. Recuperado a partir de <http://cdigital.uv.mx/bitstream/123456789/31561/1/dominguezgonzalezhector.pdf>

Durán Chico, A. (2016). Estudio de Reconocimiento sobre la Energía Solar Fotovoltaica como Alternativa Energética para Uso en Instalaciones Eléctricas Domiciliarias. Recuperado a partir de <http://repository.udistrital.edu.co/bitstream/11349/4778/1/ESTUDIO%20DE%20RECONOCIMIENTO%20DE%20LA%20ENERG%C3%8DA%20SOLAR%20FOTovoltaica%20COMO%20ALTERNATIVA%20ENERG%C3%89TICA%20PARA%20USO%20EN%20INSTALACIONES%20EL%C3%89CTRICAS%20DOMICILIARIAS-Duan%26Romero.pdf>

Enphase Energy. (2016). Manual de Instalación y Funcionamiento, Microinversores Enphase M250 y M215. Recuperado a partir de

<https://enphase.com/sites/default/files/downloads/support/M215-M250-manual-ES-LAC.pdf>

Enphase Energy. (2016). Portal de Comunicaciones Envoy de Enphase - S. Recuperado a partir de https://enphase.com/sites/default/files/downloads/support/EnvoyS_DS_ES.pdf

Enphase Energy. (2017). Accesorios de Microinversores. Recuperado a partir de <https://enphase.com/es-lac/productos-y-servicios/microinversores/accesorios>

Enphase Energy. (2015). Enlighten Manager. Recuperado a partir de https://enphase.com/sites/default/files/enlighten_feature_sheet_es.pdf

Enphase Energy. (2015). Guía de Instalación Rápida del Envoy. Recuperado a partir de https://enphase.com/sites/default/files/Envoy_QIG_ES.pdf

EREN. (2004). *Energía Solar Fotovoltaica: Manual del Instalador* (Junta de Castilla y León-Consejería de Economía y Empleo, Ente Regional de la Energía de Castilla y León (EREN)). Junta de Castilla y León - Consejería de Economía y Empleo , Ente Regional de la Energía de Castilla y León (EREN). Recuperado a partir de http://www.energia.jcyl.es/web/jcyl/Energia/es/Plantilla100Detalle/1273563855827/_/1284252479173/Redaccion

EREN. (2008). *Las Energías Renovables en Castilla y León* (Primera). Junta de Castilla y León - Consejería de Economía y Empleo , Ente Regional de la Energía de Castilla y León (EREN).

Flores, H. (2014). Diseño y dimensionamiento con Microinversores Enphase. Recuperado a partir de http://www.exelsolar.com/Documentos/ManualesUsuario/Productos/M215-60_ManualUsuario3.pdf

Historia de la Energía Solar | EnergiaSolar.mx. (2016). Recuperado 7 de julio de 2017, a partir de <http://www.energiasolar.mx/inventos/historia-energia-solar.html>

James P. Dunlop. (2010). *Photovoltaic Systems* (Segunda). Orland Park, Illinois: American Technical Publishers.

Monar, I. (2015). *DISEÑO DE UNA INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA OPTIMIZANDO EL ÁNGULO DE INCLINACIÓN DE LOS PANELES SOLARES*. UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTIAGO DE GUAYAQUIL, Guayaquil. Recuperado a partir de <http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:wpK41KPIs8oJ:repositorio.ucsg.edu.ec/handle/3317/3899+&cd=1&hl=es-419&ct=clnk&gl=ec>

Ortega Hidalgo, O. I. (2013). *Procedimiento Técnico para la Implementación de Microcentrales Eléctricas utilizando paneles fotovoltaicos*. Universidad Politécnica Salesiana, Quito. Recuperado a partir de <http://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/6348/1/UPS-KT00800.pdf>

Rodríguez, E. (2014). Las plantas de energía mareomotriz más grandes del mundo. Recuperado a partir de <http://www.fierasdelaingenieria.com/las-plantas-de-energia-mareomotriz-mas-grandes-del-mundo/>

Rodríguez, H. (2017). Cálculo y diseño de una instalación solar fotovoltaica para autoconsumo en vivienda. Recuperado a partir de <http://ingemecanica.com/descargas/descargatut192.html>

Vercelli, A. (2012). ¿Qué es la energía Mareomotriz? Recuperado a partir de <http://www.energias.bienescomunes.org/2012/10/03/que-es-la-energia-mareomotriz/>

Yuba Solar. (2010). Sombras entre filas de módulos fotovoltaicos. Recuperado 12 de julio de 2017, a partir de <http://www.yubasolar.net/2015/03/sombras-entre-filas-de-modulos.html>

ANEXOS

Anexo 6.1. Medidor Elster grEX AMI

Medidor AMI gREX®



El medidor gREX de Elster ofrece capacidades de vanguardia en AMI, proporcionando un valor significativo a las aplicaciones residenciales.

Excelencia en medición residencial

El medidor gREX de Elster, es un medidor electrónico diseñado para satisfacer los requerimientos de medición domiciliar y proveer un medio de comunicación remoto. Como un componente del sistema EnergyAxis®, el medidor gREX ofrece capacidades de infraestructura avanzada de medición (AMI) a las aplicaciones de medición residencial.

Las compañías de servicio pueden obtener datos de intervalo, lecturas de energía bidireccional, tarifas horarias e información de Tiempo-de-Uso (TOU) a través de la red EnergyAxis®.

Los medidores gREX están disponibles para las configuraciones de conexión residenciales más comunes.

Para optimizar el funcionamiento de la red EnergyAxis®, cada medidor gREX puede actuar como repetidor. Esto mejora la robustez de la red de comunicaciones, maximizando el rango de comunicación de cada colector.

Debido a que el medidor gREX obtiene la hora real de la red, no es necesaria la instalación y mantenimiento de una batería en el mismo.

La información que usted necesita

Como un punto de facturación residencial en el sistema EnergyAxis®, el medidor gREX ofrece la siguiente información:

- Valores totales y en cuatro tarifas de energía para dos variables de medición seleccionadas de: kWh entregados, kWh recibidos, kWh sumados (entregados+recibidos) o kWh netos (entregados-recibidos).
- Datos de demanda para dos magnitudes, cada una configurada como demanda total o demanda para una tarifa horaria específica.
- Dos canales de perfil de carga para la variable primaria seleccionada en intervalos de 15, 30 ó 60 minutos.

Adicionalmente, el medidor reporta numerosos estados, alertas y condiciones de error. Toda la información medida es almacenada internamente en memoria no-volátil.

Actualizaciones a través de la red

El medidor gREX está diseñado para permitir futuras actualizaciones de sus capacidades y funcionamiento. Esto protege a sus instalaciones de volverse obsoletas y provee gran

flexibilidad. Dichas actualizaciones están diseñadas para realizarse a través de la red EnergyAxis®, reduciendo la necesidad de realizar costosas visitas a las instalaciones.



Medidor AMI gREX®

Con más de 1 millón de medidores inteligentes vendidos y más de un siglo de experiencia, Elster entiende los requerimientos de las compañías de servicio.

Detección de interrupciones y restablecimiento del servicio

El medidor gREX ofrece a las compañías de servicio la información necesaria para la administración de interrupciones y restablecimientos de energía, permitiendo a estas identificar rápidamente este tipo de fallas. Las compañías reciben además, mensajes para validar que la energía ha sido restablecida en cada cliente.

El medidor gREX también ofrece la siguiente información que puede ser usada para calcular índices de interrupciones:

- Número total de interrupciones momentáneas, donde la definición de momentánea versus sostenida es configurable.
- Número total y tiempo acumulado de interrupciones sostenidas.

Capacidad de desconexión opcional

Al instalar el medidor gREX con el interruptor de desconexión, opcional, las compañías de servicio pueden reducir o eliminar la necesidad de enviar personal al campo para conectar y desconectar el servicio eléctrico. Adicionalmente el medidor gREX puede ser programado para desconectar la energía cuando la demanda supere un límite previamente programado y restablecer posteriormente la energía después de unos minutos.

Relé de control de demanda, opcional

Las compañías de servicio pueden controlar el consumo de sus clientes utilizando el relé de control de demanda, opcional. El relé de control de demanda puede ser activado de las siguientes maneras:

- De forma programada basado en el calendario del medidor.
- A pedido enviando comandos a través de la red EnergyAxis®.

El relé de control de demanda está disponible en versiones de 2 A y 32 A.

Gabinete pequeño

El medidor gREX posee un tamaño pequeño permitiendo su instalación en cualquier espacio físico.

- Los problemas de instalación son minimizados.
- El gREX cumple con el típico formato IEC.
- El gREX también cumple con el Standard ANSI C12.20 y puede ser utilizado en instalaciones ANSI con fijación inferior.

Acerca del Grupo Elster

Elster es un líder mundial en infraestructura avanzada de medición (AMI), medición integrada y soluciones para las empresas comercializadoras de gas, electricidad y agua. Los sistemas y soluciones de Elster reflejan más de 170 años de conocimiento y experiencia en la medición de recursos preciados.

Elster provee soluciones y tecnologías avanzadas para ayudar a las empresas comercializadoras de servicios para que en forma más fácil, eficiente y confiable obtengan y utilicen inteligencia avanzada de medición para mejorar el servicio al cliente, mejorar la eficiencia operacional e incrementar beneficios al cliente final.

Las soluciones AMI de Elster permiten a las empresas comercializadoras de servicios el despacho, la administración y la conservación de recursos esenciales para la vida como el gas, la electricidad y el agua en forma efectiva.

Datos Técnicos

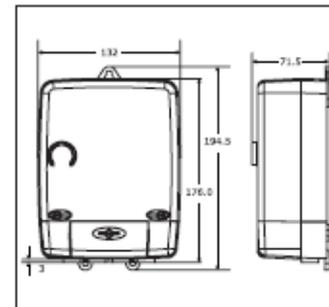
Rangos de Operación

Voltaje	
1 fase 2 hilos	120 VAC ± 20% o 240 VAC ± 20%
1 fase 3 hilos	
Corriente	5 (100) A (con o sin relé de corte) 5 (120) A (con o sin relé de corte)
Frecuencia	Nominal 50 Hz o 60 Hz ± 5%
Temperatura	-40° C a +55° C (ambiente) -10° C a +85° C (en la electrónica)
Humedad	0 % a 100 % sin condensación
Ensayos ambientales	IP 54

Característica de Operación

Corriente de arranque	20 mA a I = 5 A
Retraso de encendido	Menor de 5 segundos
Deslizamiento 0.000A	No más de un pulso medido por parámetro conforme a la norma IEC 62053-21 (sin corriente)
Base primaria de tiempo	El tiempo relativo es mantenido por un cristal; el tiempo real se provee por la red
Frecuencia de comunicación	Porciones de las frecuencias de 902 MHz a 928 MHz
Velocidad de comunicación	17,600 bps (Radio 900 MHz)
Cumple Normas IEC	IEC 62052-11, IEC 62052-21, IEC 62053-21
Cumple Normas	ANSI C12.19, ANSI C12.22, AS/NZS 4268, NMI M6

Dimensiones (en mm)



Elster Medidores S.A. - Galileo La Rioja S.A.

J. I. Rucci 1051 - (B1822CJU) - Valentin Alsina
Pcia. de Buenos Aires - Argentina
Tel.: 54 11 4229-5600 - Fax: 54 11 4229-5656
E-mail: elster.medidores@ar.elster.com
www.elstermetering.com

Anexo 6.2. Microinversor M250 Enphase

Microinversor M250 de Enphase

DATOS DE ENTRADA (CC)	MODELOS: M250-60-2LL-S22, M250-60-2LL-S25	MODELOS: M250-72-2LL-S22, M250-72-2LL-S25
Combinación de módulos recomendado ¹	210 - 350+ W	210 - 350+ W
Compatibilidad	Módulos fotovoltaicos de 60 celdas	Módulos fotovoltaicos de 60 y 72 células
Tensión máxima de DC de entrada	48 V	62 V
Tensión máxima de registro de corriente	27 V - 37 V	27 V - 48 V
Intervalo de funcionamiento	16 V - 48 V	16 V - 60 V
Tensión de arranque mínima/máxima	22 V/48 V	22 V/48 V
Corriente de cortocircuito de CC máxima	15 A	15 A
DATOS DE SALIDA (CA)		
Potencia máxima de salida	250 W	
Potencia de salida (continua) nominal	240 W	
Corriente de salida nominal	1,15 A @ 208 V CA 1,0 A @ 240 V CA	
Tensión nominal/intervalo	208 V/183-229 V @ 208 V CA 208 V/211-264 V @ 208 V CA	
Frecuencia nominal/intervalo	60,0/57-61 Hz	
Intervalo de frecuencia extendido ²	57-62,5 Hz	
Factor de potencia	>0,95	
Máximo de unidades por circuito derivado de 20 A	24 (208 V CA trifásico) 16 (240 V CA monofásico)	
Corriente máxima de falla de salida	850 mA RMS para 6 ciclos	
EFICIENCIA		
Rendimiento ponderado del CEC	96,5 %	
Rendimiento máximo del inversor	96,5 %	
Rendimiento estático del MPPT (ponderado, referencia ENS0530)	99,4 %	
Consumo de energía nocturno	máximo de 65 mW	
DATOS MECÁNICOS		
Intervalo de temperatura ambiente	-40 a 65 °C	
Dimensiones (An. x Al. x Pr.)	171 mm x 173 mm x 30 mm (sin soporte de montaje)	
Peso	1,6 kg (3,4 lb)	
Refrigeración	Convección natural, sin ventiladores	
Calificación ambiental de la caja	Exterior: NEMA 6	
Tipo de conector	MC4: M250-60-2LL-S22 y M250-72-2LL-S22 Amphenol H4: M250-60-2LL-S25 y M250-72-2LL-S22	
CARACTERÍSTICAS		
Comunicación	Línea eléctrica	
Conexión a tierra integrada	El circuito de CC cumple con los requisitos de los conjuntos de paneles fotovoltaicos sin conexión a tierra en NEC 690.35. La conexión a tierra del equipo se proporciona en el cable Engage. No se necesita una conexión a tierra ni un GEC adicionales. La protección por falla de conexión a tierra (GFP) está integrada en el microinversor.	
Monitoreo	Opciones de monitoreo Enlighten Manager y MyEnlighten	
Descripción del transformador	Transformadores de alta frecuencia están galvánicamente aislados	
Conformidad	UL 2703 reconocido, UL1741/IEEE1547, FCC Parte 15 Clase B, CAN/CSA-C22.2 NO. 0-M91, 0.4-04 y 107.1-01	

Anexo 6.3. Módulo Fotovoltaico AS-6M30 AmeriSolar



New Energy

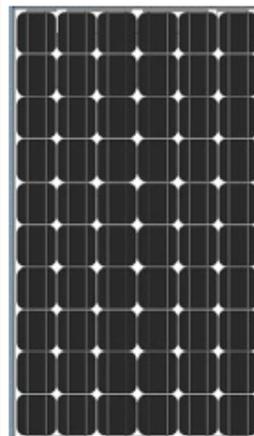
New World

Worldwide Energy and Manufacturing USA, Co., Ltd.

AS-6M30 Amerisolar

Amerisolar's photovoltaic modules are designed for large electrical power requirements. With a 30-year warranty, AS-6M30 offers high-powered, reliable performance for both on- and off-grid solar projects.

- Solar Cell: High efficiency solar cells ensure high performance of solar module and maximize the power output.
- Low iron tempered glass: Anti-reflecting coating enhances light transmittance and increases the power output of solar module.
- Aluminum frame: Robust and corrosion resistant aluminum frame, designed for easy installation and long term reliability.
- Junction box: High stability with good waterproof and dustproof capabilities.
- Long lifespan: ≥ 30 years.
- Power tolerance: $0 \sim +3\%$.
- Good performance when used under atrocious weather such as wind and hails.
- Salt mist corrosion resistance, Ammonia corrosion resistance and Moisture resistance ensure the modules to be applied under the circumstances of coastal areas and farms.
- The certificate issued by international authority: CE, TUV, IEC, UL, MCS, PV CYCLE, CEC Australia listed, Israel Certificate and Korea Certificate.



WARRANTY

- Product: 12 years
- Power Output:
91.2%—12 years
80.6%—30 years

Electrical characteristics

<i>P_{max}, V_{oc}, I_{sc}, V_{mp} and I_{mp} at STC (1000W/m², 25°C, AM 1.5):</i>								
Maximum Power (P _{max})	225W	230W	235W	240W	245W	250W	255W	260W
Open Circuit Voltage (V _{oc})	36.8V	36.9V	37.0V	37.1V	37.2V	37.3V	37.4V	37.5V
Short Circuit Current (I _{sc})	8.16A	8.31A	8.42A	8.52A	8.62A	8.72A	8.82A	8.91A
Maximum Power Voltage (V _{mp})	30.1V	30.2V	30.3V	30.3V	30.4V	30.5V	30.6V	30.7V
Maximum Power Current (I _{mp})	7.48A	7.62A	7.76A	7.92A	8.06A	8.20A	8.34A	8.48A
Module Efficiency (%)	13.8	14.1	14.4	14.7	15.0	15.3	15.6	15.9

Temperature Coefficients

Temperature Coefficients of P _{max}	-0.43 %/°C
Temperature Coefficients of V _{oc}	-0.33 %/°C
Temperature Coefficients of I _{sc}	+0.056 %/°C

Absolute Maximum Limits

Maximum System Voltage	1000V DC
Module Operating Temperature	-40°C to +85°C
NOCT	45°C±2°C



Passionately committed to delivering innovative energy solution

www.weamerisolar.eu



New Energy

New World

Worldwide Energy and Manufacturing USA, Co., Ltd.

Mechanical characteristics	
Solar Cell	Monocrystalline silicon 156mmx156mm
Number of Cells	60 (6x10)
Dimensions	1652mmx1000mmx50mm
Weight	22kg
Frame	Anodized aluminium alloy
Length of Cables	900mm
Allowable Hail Impact	25mm hail at 23m/s
Surface Maximum Load Capacity	2400Pa(Wind load) / 5400Pa(Snow load)

Basic Dimensions

Unit: mm

Rear Side Front

1. Front: 3.2mm tempered glass
2. EVA
3. 60 high efficiency solar cells
4. EVA
5. Rear: laminate (weatherproof and waterproof)

I-V curves

Current-Voltage and Power-Voltage curves under STC

Current-Voltage curves at different irradiances

Current-Voltage curves at different temperatures

AMERISOLAR EUROPE

Via Angelo Moro 61 20097 San Donato Milanese MI, Italy
 Tel: 0039 02 51 62 1375
www.amerisolar.eu

AMERISOLAR USA

408 North Canal Street, Unit A&B South San Francisco, California 94080
 Tel: 001 650 7777 7606
www.wmusa.com

Anexo 6.4. Cálculo de la Demanda de la Casa Solar

CALCULO DE LA DEMANDA DE LA CASA SOLAR						
METODO DE EBASCO CON LOS CONSUMOS ELECTRICOS						
CARGAS	NUMERO DE PUNTOS	CARGA INST. POR PUNTO (w)	FACTOR DE COINCIDENCIA	HORAS PROM. DE FUNCIONMTO	CONSUMO PARCIAL EN WH	
ALUMBRADO	22	100	0,7	6	9240,00	
TOMACORRIENTES	17	250	0,6	4	10200,00	
REFRIGERA DORA	1	700	0,60	5	2100,00	
LAVADORA	1	1200	0,80	2,5	2400,00	
SECA DORA	0	3000	1,00	1	0,00	
BOMBA DE AGUA	1	500	0,80	2,5	1000,00	
CALENTADOR DE AGUA	1	2300	0,80	2	3680,00	
COCINA ELECTRICA INDUCC	0	4000	0,75	1,5	0,00	
DUCHA ELECTRICA	0	2500	1,00	1	0,00	
BOMBA DE PISCINA	0	750	1,00	2	0,00	
HIDROMASAJE	0	2500	1,00	1	0,00	
TV	2	200	1,00	4	1600,00	
Telefono-Portero	0	80	1,00	1	0,00	
TRITURADOR BASURA	0	250	1,00	1	0,00	
MICROONDAS	1	1200	0,50	1,5	900,00	
HORNO	0	1500	1,00	1	0,00	
PLANCHA	1	800	0,80	1,5	960,00	
AIRES ACONDICIONADOS:						
9000 BTU/HORA	0	900	1,00	4	0,00	
10000 BTU/HORA	0	1000	1,00	2,5	0,00	
12000 BTU/HORA	5	1200	0,80	5	24000,00	
14000 BTU/HORA	0	1400	1,00	4	0,00	
18000 BTU/HORA	0	18000	1,00	2	0,00	
24000 BTU/HORA	0	2400	1,00	4	0,00	
30000 BTU/HORA	0	3000	1,00	4	0,00	
CONSUMO TOTAL EN KWH	56,08	KW/DIA/ABONADO				
CONSUMO TOTAL EN KWH	1682,4	KW/MES/ABONADO				
DEMANDA EN KW	10,78	KW				
Caso 1			9,78	KW	1500KWH	
Caso 2			12,48	KW	2000KWH	

Anexo 6.5. Planilla de circuitos de la casa modelo

Planilla de circuitos

PANEL: PD-SG

Ubicación: Planta Baja

Voltaje nominal: 240/120 Voltaje de trabajo: 240 Fases: 2

Circuito	Fase	Voltaje	# puntos	W/punto	Kw/circ	Fu	WT	F.P	Efic	Amps	Conductor	Disyuntor	Servicio
A1	A	120	7	100	0,70	0,7	0,49	1	1	7,29	1#12+NH#12+T#14	1P-20A	ALUMB. DORM. MASTER, 2-DORM. 3- ESCALERA
A2	B	120	8	100	0,80	0,7	0,56	1	1	8,33	1#12+NH#12+T#14	1P-20A	ALUMB. SALA-COMEDOR-COCINA-CTO. BOMBA
A3	A	120	7	100	0,70	0,7	0,49	1	1	7,29	1#12+NH#12+T#14	1P-20A	ALUMB. PATIO SOCIAL
T1	B	120	7	250	1,75	0,6	1,05	0,9	1	20,25	1#12+NH#12+T#14	1P-20A	T/C DORM. MASTER-DORM. 2-DORM. 3
T2	A	120	2	250	0,50	0,6	0,3	0,9	1	5,79	1#12+NH#12+T#14	1P-20A	T/C SOBREMESÓN DE SSH DORM.MASTER-2-3
T3	B	120	4	250	1,00	0,6	0,6	0,9	1	11,57	1#12+NH#12+T#14	1P-20A	T/C SALA-COMEDOR-PATIO SOCIAL
T4	A	120	2	250	0,50	0,6	0,3	0,9	1	5,79	1#12+NH#12+T#14	1P-20A	T/C SOBRE MESON DE COCINA
T5	B	120	1	250	0,25	0,7	0,175	0,85	1	3,06	1#12+NH#12+T#14	1P-20A	T/C REFRIGERADORA
T6	A	120	1	250	0,25	0,5	0,125	0,85	1	3,06	1#12+NH#12+T#14	1P-20A	T/C MICROONDA
T7	B	120	1	250	0,25	0,8	0,2	1	1	2,60	1#12+NH#12+T#14	1P-20A	T/C COCINA A GAS
T8	A	120	1	250	0,25	0,8	0,2	1	1	2,60	1#12+NH#12+T#14	1P-20A	T/C CAMPANA DE COCINA
T9	B	120	1	1200	1,20	0,7	0,84	0,85	1	3,88	1#12+NH#12+T#14	1P-20A	T/C LAVADORA DE ROPA
T10	A	120	1	372,5	0,37	0,6	0,2235	1	1	3,88	1#12+NH#12+T#14	1P-20A	T/C BOMBA DE AGUA
T11	AB	240	1	1500	1,50	0,8	1,2	1	1	7,81	2#12+ T#14	2P-20A	AA SALA
T12	AB	240	1	1500	1,50	0,8	1,2	0,85	1	9,19	2#12+ T#14	2P-20A	AA COMEDOR
T13	AB	240	1	1500	1,50	0,8	1,2	0,85	1	9,19	2#12+ T#14	2P-20A	AA DORM. MASTER
T14	AB	240	1	1500	1,50	0,8	1,2	0,85	1	9,19	2#12+ T#14	2P-20A	AA DORM. 2
T15	AB	240	1	1500	1,50	0,8	1,2	0,85	1	9,19	2#12+ T#14	2P-20A	AA DORM. 3
T16	AB	240	1	2000	2,00	0,6	1,2	1	1	10,42	2#12+ T#14	2P-20A	CALENTADOR DE AGUA

Carga instalada (Kw): 12,75

Factor de coincidencia: 0,75

Porcentaje de reserva: 20%

Carga efectiva (Kw) 11,48

Voltaje 240,00

Amperaje 48,70

Breaker 60,88

Conductor 2#4+ NH#6+T#8 AWG Cu. THHN. 2P-70A

Anexo 6.6. Proyecto Eléctrico de Energía Renovable Solar Fotovoltaica

PROYECTO ELECTRICO ENERGIA RENOVABLE SOLAR FOTOVOLTAICO		V. EQUIP. Inst.		Tarifa (KWh)		valor									
CAPACIDAD INSTALADA PICO:	3.5	KW	\$ 12.381,69	6007,26	0,091	\$ 546,66									
HORAS PICO SOLAR MEDIA	4.7	H	GEN-1 PA NEL/ año	6007,26	0,0812	\$ 492,15									
INVERSION:	3537,63	\$/KW	# Paneles												
ENERGIA ESTIMADA:	6007,26	KWH/AÑO	429,09												
PRECIO KWH X MES:	0,6812	\$/KWH	14												
COSTOS FIJOS:	150	\$/AÑO													
COSTOS VARIABLES:	0	\$/KWH													
TASA DE DESCUENTO:	12,00%														
AÑO INSTALACION	2018														
BENEFICIOS X AÑO															
INVERSION:	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032
	\$ 3.942,15	\$ 3.519,77	\$ 3.142,65	\$ 2.805,94	\$ 2.505,30	\$ 2.236,88	\$ 1.997,21	\$ 1.783,23	\$ 1.592,17	\$ 1.421,58	\$ 1.269,27	\$ 1.133,27	\$ 1.011,85	\$ 903,44	\$ 806,64
	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040	2041	2042	2043	2044	2045	2046	2047
	\$ 720,22	\$ 643,05	\$ 574,15	\$ 512,63	\$ 457,71	\$ 403,67	\$ 354,88	\$ 305,79	\$ 260,88	\$ 219,72	\$ 181,89	\$ 147,04	\$ 114,86	\$ 84,05	\$ 54,37
	30 AÑOS	25 AÑOS	20 AÑOS	15 AÑOS	10 AÑOS	5 AÑOS	4 AÑOS	3 AÑOS	2 AÑOS	1 AÑO					
Valor Presente:	\$ 23.183,58	\$ 22.247,36	\$ 20.997,42	\$ 17.689,66	\$ 12.565,19	\$ 3.534,13	\$ 1.028,82	-\$ 1.777,12	-\$ 4.919,77	-\$ 8.419,54					
TIR	39,80%														

La Inversion se recupera antes de los 4 Años
El ahorro en 25 Años de funcionamiento es : \$ 22.247,36

Anexo 6.7. Plano de la casa solar



DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, **ERAZO MERA, BRUNO EMMANUEL**, con C.C: # 0919257659 autor del Trabajo de Titulación: **Diseño eléctrico de una vivienda con paneles solares utilizando microinversores, conectados a la red mediante un medidor bidireccional** previo a la obtención del título de **INGENIERÍA EN ELÉCTRICO-MECÁNICA CON MENCIÓN EN GESTIÓN EMPRESARIAL INDUSTRIAL** en la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.

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

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

Guayaquil, 19 de Septiembre del 2017

f. _____

Nombre: ERAZO MERA, BRUNO EMMANUEL

C.C: 0919257659



REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA			
FICHA DE REGISTRO DE TESIS/TRABAJO DE TITULACIÓN			
TÍTULO Y SUBTÍTULO:	“DISEÑO ELÉCTRICO DE UNA VIVIENDA CON PANELES SOLARES UTILIZANDO MICROINVERSORES, CONECTADOS A LA RED MEDIANTE UN MEDIDOR BIDIRECCIONAL”.		
AUTOR(ES)	Erazo Mera, Bruno Emmanuel		
REVISOR(ES)/TUTOR(ES)	Ing. Hidalgo Aguilar, Jaime Rafael		
INSTITUCIÓN:	Universidad Católica de Santiago de Guayaquil		
FACULTAD:	Facultad de Educación Técnica para el Desarrollo		
CARRERA:	Ingeniería en Eléctrico-Mecánica		
TÍTULO OBTENIDO:	Ingeniero en Eléctrico-Mecánica con mención en Gestión Empresarial Industrial		
FECHA DE PUBLICACIÓN:	19 de Septiembre del 2017	No. DE PÁGINAS:	118
ÁREAS TEMÁTICAS:	Generación Eléctrica		
PALABRAS CLAVES/ KEYWORDS:	ENERGIA ELECTRICA, CONDUCTOR, SISTEMA FOTOVOLTAICO, RADIACIÓN SOLAR, SEMICONDUCTOR, ENVOY, MICROINVERSOR.		
RESUMEN/ABSTRACT (150-250 palabras):			
<p>Ecuador está ubicado en el centro de la tierra, con una latitud, entre 5°S y 2°N, con una radiación solar elevada, se constituye un ambiente ideal, para la generación eléctrica con un Sistema Solar Fotovoltaico SSFV.</p> <p>El país debe poner manos a la obra en la creación de proyectos que inviertan en la energía solar, ya que esta se divide en: Termoeléctrica, fotovoltaica y térmica. Este tipo de energías, son más amigables con el medio ambiente y los seres vivos.</p> <p>Para el caso de la presente tesis, se calculó la carga total de una vivienda (KW) y su consumo mensual de energía eléctrica (KW-h), usando el Método de EBASCO y se diseñó un sistema SSFV con microinversores para una carga parcial del 30%, la cual se podrá conectar directamente a la red eléctrica, para un usuario que dispone de un medidor bidireccional NET-METERING.</p> <p>La tesis, podrá ser implementada a nivel nacional, cuando el Ecuador, decida transformar en realidad el discurso de protección de la ecología, la huella del carbono y la disminución de la emisión de gases de efecto invernadero CO2 y promueva incentivos económicos para la ejecución de este tipo de proyectos de generación de energía eléctrica con recursos renovables.</p>			
ADJUNTO PDF:	<input checked="" type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO	
CONTACTO CON AUTOR/ES:	Teléfono: +593-4-2830007 +593-9-79967498	E-mail: erazobruno327@gmail.com	
CONTACTO CON LA INSTITUCIÓN: COORDINADOR DEL PROCESO DE UTE	Nombre: Ing. Raúl Montenegro Tejada		
	Teléfono: (04) 2 20933		
	E-mail: raulmontenegro@cu.ucsg.edu.ec / ute@cu.ucsg.edu.ec		
SECCIÓN PARA USO DE BIBLIOTECA			
Nº. DE REGISTRO (en base a datos):			
Nº. DE CLASIFICACIÓN:			
DIRECCIÓN URL (tesis en la web):			