





**UNIVERSIDAD TECNICA DE COTOPAXI**  
**UNIDAD DE POSGRADOS**  
**PROGRAMA DE MAESTRÍA EN GESTION DE ENERGÍAS**

**TÍTULO:**

---

**“DISEÑO DE UN SISTEMA HÍBRIDO DE GENERACIÓN,  
UTILIZANDO ENERGÍA FOTOVOLTAICA PARA REDUCIR LA  
DEMANDA DE ENERGÍA EN UN HOGAR UNIFAMILIAR DEL  
BARRIO LOS MOLINOS, LATACUNGA, 2013”.**

---

Tesis de grado presentado como requisito para optar por el título de Magister en  
Gestión de Energías.

**Autor: Ing. PROAÑO MALDONADO, Xavier Alfonso**

**Tutor: Dr. C. RODRÍGUEZ BÁRCENAS, Gustavo**

**LATACUNGA – ECUADOR**

**Diciembre - 2013**



# UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

UNIDAD DE POSGRADO

Latacunga – Ecuador

---

## APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

En calidad de Miembros del Tribunal de Grado aprueban el presente Informe en consideración de posgrados de la Universidad Técnica de Cotopaxi; por cuanto, el maestrante: Proaño Maldonado Xavier Alfonso, con el título de tesis **“Diseño de un sistema híbrido de generación, utilizando energía fotovoltaica para reducir la demanda de energía en un hogar unifamiliar del barrio los Molinos, Latacunga, 2013”**, han considerado las recomendaciones emitidas oportunamente y reúne los méritos suficientes para ser sometido al acto de Defensa de Tesis.

Por lo antes expuesto, se autoriza realizar los empastados correspondientes, según la normativa institucional.

Latacunga diciembre 2013

Para constancia firman:

.....  
MSc. Nelson Corrales  
PRESIDENTE

.....  
MSc. Giovanna Parra  
MIEMBRO

.....  
Dr. C. Ángel Columbie  
PROFESIONAL EXTERNO

.....  
MSc. Gabriel Hernández  
OPOSITOR

## **AVAL TUTOR DE TESIS**

Latacunga, Diciembre del 2013

En mi calidad de tutor de tesis presentada por el Ing. Xavier Alfonso Proaño Maldonado, egresado de la Maestría en Gestión de Energías, previa a la obtención del mencionado grado académico, cuyo título es **“Diseño de un sistema híbrido de generación, utilizando energía fotovoltaica para reducir la demanda de energía en un hogar unifamiliar del barrio los Molinos, Latacunga, 2013”**.

Considero que dicho trabajo reúne los méritos suficientes para ser sometido a la presentación pública y evaluación por parte del tribunal evaluador.

Atentamente

.....  
Dr. C. Gustavo Rodríguez Bárcenas

**TUTOR DE TESIS**

## **AUTORÍA**

Yo Xavier Alfonso Proaño Maldonado, portador del número de cédula 0502656424, declaro que la presente Tesis de Grado, es de mi autoría y que todos los objetivos propuestos en la misma se desarrollaron y se cumplieron a cabalidad

Atentamente

Xavier Alfonso Proaño Maldonado  
C.I. 0502656424

## **AGRADECIMIENTO**

A la Universidad Técnica de Cotopaxi, por brindarme la oportunidad de poder superarme profesionalmente, y a todo el equipo profesional que existe en esta noble institución, por el apoyo brindado para culminar con éxito este trabajo.

Quiero agradecer a los docentes, que brindaron sus conocimientos y experiencia en las aulas de clase durante el desarrollo de la maestría, a mis compañeros de aula con los que se pasaron momentos agradables y se aprendió el valor del trabajo en equipo.

Quiero agradecer a mi tutor, Gustavo Rodríguez Bárcenas, quien ha depositado la confianza en mi persona para el desarrollo de este proyecto, de igual forma hacerle extensivo este agradecimiento a mi docente asesor, Secundino Marrero Martínez, por sus críticas; las cuales permitieron contar con un trabajo final de alta calidad.

A mis familiares, que de una manera u otra manera, siempre están presente para brindarme su apoyo incondicional en cada etapa de la vida.

Xavier

## **DEDICATORIA**

Este trabajo de titulación para el grado de Master en Gestión de Energías, está dedicado a mis padres y mi hermana, espero que el mismo refleje que todo se puede lograr con esfuerzo, dedicación y con la bendición de Dios.

También espero que este trabajo sirva de inspiración para mis familiares y amigos que aún se encuentran cursando sus estudios y que les incentive a luchar por lo que desean.

Xavier

**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI**  
**UNIDAD DE POSGRADOS**  
**MAESTRÍA EN GESTIÓN DE ENERGÍAS**

**TÍTULO: Diseño de un sistema híbrido de generación, utilizando energía fotovoltaica para reducir la demanda de energía en un hogar unifamiliar del barrio los Molinos, Latacunga, 2013.**

**AUTOR: PROAÑO MALDONADO Xavier Alfonso.**

**TUTOR: PhD. RODRÍGUEZ BÁRCENAS Gustavo.**

**RESUMEN**

En este proyecto, se desarrollan los fundamentos de los sistemas solares fotovoltaicos, su clasificación y elementos que los constituyen, el estudio se enfoca específicamente a los sistemas interconectados a la red, además, en el desarrollo de este proyecto, se indica el proceso de conversión de la energía solar a energía eléctrica, mediante celdas fotovoltaicas y su utilización en sus diferentes formas. La investigación que se utilizó fue la integrativa, ya que se evaluó la radiación solar existente en el sitio de estudio, y con esta información se determinó que, la cantidad de energía obtenida del sistema es de 1383,5 Wh/día, el sistema solar funciona desde las 8:00 a 16:30, en este tiempo se tiene una irradiancia mínima de 197 W/m<sup>2</sup> de 16:00 a 16:30. Del estudio del comportamiento de carga del hogar, se pudo determinar que: la energía que se consume en el periodo de evaluación considerado es 2026,23 Wh/día. Finalmente se realizó la evaluación financiera del sistema, y se determinó que la inversión es rentable si existiera un subsidio del sistema por un 40% de la inversión total, y el costo de cada kWh producido se pagara a 1,75 USD.

**Descriptores:** Sistemas Fotovoltaicos, Radiación Solar, Paneles solares

**TECHNICAL UNIVERSITY OF COTOPAXI**  
**POSTGRADUATE UNIT**  
**MASTER OF ENERGY MANAGEMENT**

**TITLE: Design of a hybrid generation system using photovoltaic to reduce energy demand in a single family home neighborhood Molinos, Latacunga, 2013.**

**AUTOR: PROAÑO MALDONADO Xavier Alfonso.**

**TUTOR: PhD. RODRÍGUEZ BÁRCENAS Gustavo.**

**ABSTRACT**

In this project the fundamentals of photovoltaic solar systems evolve, their classification and their constituent elements, the study specifically focuses on the interconnected network systems also in the development of this project, the conversion process is shown solar energy to electrical energy through photovoltaic cells and their use in different ways. The research used was integrative, since the existing solar radiation at the study site was evaluated , and with this information it was determined that the amount of energy from the system is 1383.5 Wh/day , the solar system works from 8:00 to 16:30, at this time has a minimum irradiance of 197 W/m<sup>2</sup> from 16:00 to 16:30. The study of the behavior of household burden, it was determined that: the energy consumed in the evaluation period considered is 2026.23 Wh/day. Finally the financial evaluation of the system was performed and it was determined that the investment is profitable if there is a subsidy system for 40 % of total investment, and the cost per kWh produced is paid to 1.75 USD.

**Descriptors:** Photovoltaic Systems, Solar Radiation, Solar Panels

**Aval del Traductor** \_\_\_\_\_

Mayra Noroña

## INDICE GENERAL

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO.....	ii
AVAL TUTOR DE TESIS .....	iii
AUTORÍA.....	iv
AGRADECIMIENTO .....	v
DEDICATORIA.....	vi
RESUMEN.....	vii
ABSTRACT .....	viii
INDICE GENERAL .....	ix
INDICE DE FIGURAS.....	xi
INDICE DE CUADROS.....	xii
INTRODUCCIÓN.....	1
1. EL PROBLEMA.....	3
1.1. Planteamiento del problema.....	3
1.2. Formulación del problema .....	4
1.3. Objeto de la Investigación .....	4
1.4. Campo de la Investigación.....	4
1.5. Objetivos.....	4
1.5.1. General.....	4
1.5.2. Específicos .....	4
1.6. Justificación .....	5
1.7. Hipótesis .....	5
2. MARCO TEÓRICO.....	6
2.1. Antecedentes de la Investigación .....	6
2.2. Fundamento teórico.....	7
2.3. Energía Solar.....	8
2.3.1. Radiación solar.....	9
2.3.1.1. Tipos de Radiación Solar Incidentes en la superficie terrestre	11
2.3.2. Energía Solar Fotovoltaica.....	14
2.3.2.1. Ángulos Solares.....	16
2.3.2.2. Celda o Célula Solar .....	18
2.3.2.3. Clasificación de las celdas fotovoltaicas .....	21
2.3.2.4. Módulo Fotovoltaico .....	21
2.3.3. Sistema De Generación Eléctrica Fotovoltaica.....	24
2.3.3.1. Sistemas aislados de la red eléctrica.....	24

2.3.3.2.	Banco de Baterías .....	25
2.3.3.3.	Regulador de carga. ....	28
2.3.3.4.	Sistemas Conectados a la red .....	29
2.3.3.5.	Inversor DC/AC .....	30
2.3.3.6.	Protecciones. ....	36
2.4.	Fundamentación legal.....	37
2.5.	Definición de términos básicos .....	38
3.	METODOLOGÍA .....	41
3.1.1.	Modalidad de la investigación.....	41
3.1.1.1.	Tipo de investigación.....	41
3.1.1.2.	Metodología .....	42
3.1.1.3.	Unidad de estudio .....	42
3.2.	Métodos y técnicas a ser empleadas.....	42
3.3.	Matriz De Operacionalización De Variables .....	43
3.4.	Instrumentos de recolección de datos.....	43
3.4.1.	Piranómetro .....	43
3.4.2.	Analizador de redes .....	44
3.5.	Procedimiento de la Investigación .....	45
3.6.	Procesamiento y análisis.....	45
4.	ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....	46
4.1.	Análisis de los datos de la Radiación Incidente en el sitio de estudio en el mes de Noviembre.....	46
4.1.1.	Irradiancia Incidente de las 7:00 a 7:30 .....	46
4.1.2.	Irradiancia Incidente de las 7:30 a 8:00 .....	47
4.1.3.	Irradiancia Incidente de las 8:00 a 8:30 .....	48
4.1.4.	Irradiancia Incidente de las 8:30 a 9:00 .....	49
4.1.5.	Irradiancia Incidente de las 9:00 a 9:30 .....	50
4.1.6.	Irradiancia Incidente de las 10:00 a 10:30 .....	51
4.1.7.	Irradiancia Incidente de las 12:00 a 12:30 .....	52
4.1.8.	Irradiancia Incidente de las 15:30 a 16:00 .....	53
4.1.9.	Irradiancia Incidente de las 16:30 a 17:00 .....	54
4.1.10.	Irradiación de un día típico del mes de noviembre .....	55
4.2.	Análisis del comportamiento de la carga en el hogar unifamiliar.....	57
4.2.1.	Tabulación de las potencias .....	58
4.2.1.1.	Potencias en las horas de 8:00 a 8:30 .....	58
4.2.1.2.	Potencias en las horas de 8:30 a 9:00 .....	59

4.2.1.3.	Potencias en las horas de 9:00 a 9:30 .....	60
4.2.1.4.	Potencias en las horas de 9:30 a 10:00 .....	61
4.2.1.5.	Potencias en las horas de 10:00 a 10:30 .....	62
4.2.2.	Energía consumida en el hogar unifamiliar .....	64
4.3.	Conclusiones del Capítulo .....	65
5.	PROPUESTA .....	66
5.1.	Título .....	66
5.2.	Justificación .....	66
5.3.	Objetivos.....	67
5.4.	Estructura de la Propuesta.....	67
5.5.	Desarrollo de la Propuesta .....	67
5.5.1.	Determinación de la cantidad de energía que se puede producir en el sitio con la instalación de panel solar fotovoltaico .....	67
	CONCLUSIONES GENERALES .....	75
	RECOMENDACIONES GENERALES.....	76
	REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA.....	77
	ANEXOS.....	78

## INDICE DE FIGURAS

Figura. 2.1	Órbita elíptica de la tierra alrededor del sol .....	9
Figura. 2.2	Radiación solar en el año.....	9
Figura. 2.3.	Espectro de radiación. ....	10
Figura. 2.4.	Espectro de radiación al pasar a través de la atmósfera. ....	11
Figura.2.5.	Tipos de Radiación en la superficie terrestre.....	12
Figura. 2.6.	Masa de Aire.....	13
Figura. 2.7.	Capacidad Global Fotovoltaica Solar, 1995 – 2012. ....	15
Figura. 2.8.	Capacidad Fotovoltaica Solar Global, Participación de las 10 principales ciudades, 2012.....	15
Figura. 2.9.	Capacidad Fotovoltaica Solar Global, Participación de las 10 principales ciudades, 2012.....	16
Figura. 2.10.	Determinación práctica del sur geográfico .....	18
Figura. 2.11.	Ángulo de Inclinación .....	18
Figura. 2.12.	Esquema de instalación fotovoltaica aislada. ....	19
Figura. 2.13.	Dependencia I – V de una celda solar en oscuridad y bajo iluminación. ....	20
Figura. 2.14.	Curva corriente – voltaje y potencia - voltaje.....	22
Figura. 2.15.	Variación de Voltaje y Corriente en función del voltaje y la irradiancia. ....	23
Figura. 2.16.	Esquema de instalación fotovoltaica aislada. ....	25
Figura. 2.17.	Esquema eléctrico de un regulador de carga. ....	29
Figura. 2.18.	Esquema de instalación fotovoltaica conectada a la red. ....	30

Figura. 2.19. Esquema de un inversor monofásico con topología voltaje source invertir (VSI) .....	31
Figura. 2.20. Sistema fotovoltaico desconectado de la red eléctrica .....	33
Figura. 3.1. Piranómetro Apogee MP200 .....	44
Figura. 3.2. Analizador de red Fluke 1735.....	44
Figura. 4.1. Histograma y Polígono de Frecuencia de Irradiancia (7:00 – 7:30) ..	47
Figura. 4.2. Histograma y Polígono de Frecuencia de Irradiancia (7:30 – 8:00) ..	48
Figura. 4.3. Histograma y Polígono de Frecuencia de Irradiancia (8:00 – 8:30) ..	49
Figura. 4.4. Histograma y Polígono de Frecuencia de Irradiancia (8:30 – 9:00) ..	50
Figura. 4.5. Histograma y Polígono de Frecuencia de Irradiancia (9:00 – 9:30) ..	51
Figura. 4.6. Histograma y Polígono de Frecuencia de Irradiancia (10:00 – 10:30) .....	52
Figura. 4.7. Histograma y Polígono de Frecuencia de Irradiancia (12:00 – 12:30) .....	53
Figura. 4.8. Histograma y Polígono de Frecuencia de Irradiancia (12:00 – 12:30) .....	54
Figura. 4.9. Histograma y Polígono de Frecuencia de Irradiancia (16:30 – 17:00) .....	55
Figura. 4.10. Irradiancia Vs Tiempo.....	57
Figura. 4.11. Histograma y Polígono de Frecuencia de Potencia (8:00 – 8:30)...	58
Figura. 4.12. Histograma y Polígono de Frecuencia de Potencia (8:30 – 9:00)...	59
Figura. 4.13. Histograma y Polígono de Frecuencia de Potencia (9:00 – 9:30)...	60
Figura. 4.14. Histograma y Polígono de Frecuencia de Potencia (9:30 – 10:00) ..	61
Figura. 4.15. Histograma y Polígono de Frecuencia de Potencia (10:00 – 10:30) .....	62
Figura. 4.16. Tendencia de la potencia de la carga en función del tiempo .....	64
Figura. 5.1. Curvas V-I y V-P del panel solar fotovoltaico .....	68
Figura. 5.2. Tendencia de la máxima potencia con relación a la radiación .....	68
Figura. 5.3. Comparación entre potencia generada y consumida.....	70
Figura. 5.4. Comparación entre energía consumida y generada acumulada.....	72
Figura. 5.5. Diagrama unifilar de la propuesta.....	73

## INDICE DE CUADROS

Cuadro 2.1. Eficiencia típica de módulos comerciales de silicio .....	23
Cuadro 2.2. Rendimiento de los inversores .....	35
Cuadro 2.3. Precio de kWh por rango de consumo .....	36
Cuadro 3.1. Operacionalización de variables.....	43
Cuadro 4.1. Frecuencias de radiación solar (7:00 – 7:30) .....	46
Cuadro 4.2. Frecuencias de irradiancia solar (7:30 – 8:00) .....	47
Cuadro 4.3. Frecuencias de irradiancia solar (8:00 – 8:30) .....	48
Cuadro 4.4. Frecuencias de irradiancia solar (8:30 – 9:00) .....	49
Cuadro 4.5. Frecuencias de irradiancia solar (9:00 – 9:30) .....	50
Cuadro 4.6. Frecuencias de irradiancia solar (10:00 – 10:30) .....	51
Cuadro 4.7. Frecuencias de irradiancia solar (12:00 – 12:30) .....	52
Cuadro 4.8. Frecuencias de irradiancia solar (15:30 – 16:00) .....	53
Cuadro 4.9. Frecuencias de irradiancia solar (16:30 – 17:00) .....	54
Cuadro 4.10. Irradiancia característica en el mes de noviembre y su frecuencia..	56
Cuadro 4.11. Irradiancia característica en el mes de noviembre y su frecuencia..	56

Cuadro 4.12. Potencias en el periodo de análisis de (8:00 – 8:30).....	58
Cuadro 4.13. Potencias en el periodo de análisis de (8:30 – 9:00).....	59
Cuadro 4.14. Potencias en el periodo de análisis de (9:00 – 9:30).....	60
Cuadro 4.15. Potencias en el periodo de análisis de (9:30 – 10:00).....	61
Cuadro 4.16. Potencias en el periodo de análisis de (10:00 – 10:30).....	62
Cuadro 4.17. Potencias en el periodo de análisis con su frecuencia.....	63
Cuadro 4.18. Potencias en el periodo de análisis con su frecuencia.....	64
Cuadro 5.1. Potencias y energía producida por el módulo solar fotovoltaico .....	69
Cuadro 5.2. Comparación entre potencia generada y consumida .....	70
Cuadro 5.3. Resumen del comportamiento de la Energía.....	71
Cuadro 5.4. Datos estimados si el 75% de la población instalara el sistema fotovoltaico .....	74
Cuadro 5.5. Costos estimados del sistema solar fotovoltaico .....	74
Cuadro 5.6. Cuadro resumen del análisis financiero de la implementación de la propuesta.....	74

## INTRODUCCIÓN

En la actualidad, se puede observar que, la energía eléctrica se encuentra presente en todo proceso, y es indispensable para el desarrollo de las actividades cotidianas de las personas, este recurso, en los últimos años ha venido evolucionando, con el desarrollo de tecnologías nuevas y sistemas de monitoreo y control de gran precisión.

La energía eléctrica se la puede obtener básicamente de dos fuentes de energía primaria: fuentes no renovables y renovables; las fuentes no renovables son básicamente los derivados del petróleo, la combustión de estos derivados producen gases de efecto invernadero perjudiciales para el medioambiente. Las fuentes renovables en cambio son aquellas que se renuevan en periodos de corta duración y se los tiene disponibles siempre.

En un principio, los sistemas de generación de energía eléctrica, comienzan con instalaciones de centrales térmicas, por su rápida instalación y su facilidad de ubicarse cerca de las cargas, en Ecuador todas estas centrales utilizan derivados de petróleo como fuente primaria de energía; el país cuenta con grandes recursos hídricos, los cuales se están aprovechando para lograr un cambio en la matriz energética, la cual se enfoca en tener mayor capacidad instalada de fuentes de energías alternativas, frente a las fuentes convencionales.

Varias tecnologías, relacionadas con fuentes de energías renovables se han venido desarrollando en la actualidad, la más común de encontrar es la solar fotovoltaica, en varios países se incentiva mucho la utilización de los sistemas fotovoltaicos enfocados a generación distribuida.

En Ecuador se ha impulsado algunos proyectos relacionados a energías renovables, en el parque Nacional Galápagos y en la provincia de Loja en el sector de Villonaco se tienen instalados parques eólicos y una central de energía solar fotovoltaica en la provincia de Imbabura con una capacidad cercana a 1MW.

En el análisis también, se determinó, el impacto producido si el sistema planteado se instalara en 150 casas del sector; y se realizó el análisis de la tasa interna de retorno y del valor actual neto para, determinar la alternativa que haga viable este proyecto desde el punto de vista económico.

De manera general en cada uno de los capítulos se tratan los siguientes temas:

En el capítulo I, se contextualiza la problemática existente de manera concisa con lo relacionado al uso de los recursos no renovables, se selecciona también en que marco se va a dirigir la investigación y el campo en el que se va a desarrollar la misma también se detalla los objetivos desarrollados en el trabajo de investigación.

En el capítulo II, se desarrolla una investigación bibliográfica la cual se orientó a determinar los principios mediante los cuales se produce energía eléctrica a través de radiación solar. También se investiga las tecnologías existentes para la determinación de las variables que se involucraron en este tema de estudio, mismas que permitieron alcanzar el objetivo planteado, finalmente en este capítulo se indica el marco legal existente en el país para el desarrollo de tecnologías orientadas a fuentes de energía alternativa que disminuyen la contaminación ambiental.

En el capítulo III, se encuentra la metodología utilizada en el desarrollo de la investigación científica.

En el capítulo IV, se realizó el análisis y tratamiento de datos obtenidos, para poder determinar de manera clara el objetivo planteado; estos datos son básicamente la irradiancia en el sitio de estudio y el comportamiento de la demanda del hogar unifamiliar.

En el capítulo V, se encuentra detallada la propuesta en la que se da a conocer las características del sistema fotovoltaico que se deberá instalar.

Dentro de la propuesta se resalta la cantidad de energía que se produce con el sistema fotovoltaico y se la compara con la demanda del hogar unifamiliar, en este punto se indica claramente que la energía producida por el sistema fotovoltaico siempre es menor que la demanda en el sitio de instalación del sistema, esto se debe a la imposibilidad que se tiene por parte de un reglamento que permita la comercialización de esta energía hacia las redes de distribución de la empresa eléctrica.

## **CAPITULO I**

### **1. EL PROBLEMA**

#### **1.1. Planteamiento del problema**

En la actualidad, la energía eléctrica es un recurso esencial para; la industria, el comercio y el buen vivir de las personas, debido a esto es indispensable satisfacer la demanda de energía de una manera óptima y eficiente.

El uso de recursos no renovables, como fuente primaria para producción de energía eléctrica, es algo que se debe cambiar, debido a que este tipo de recurso es finito y algún momento se puede agotar.

Por otro lado se puede afirmar que el uso de los recursos no renovables produce contaminación ambiental, la implementación de nuevas fuentes de energía limpia, permite disminuir este impacto; estas fuentes de energía pueden ser ubicadas en sitios estratégicos como por ejemplo, hogares, edificios o fábricas.

En Ecuador, el gobierno se encuentra impulsando un cambio energético que consiste en, un aumento de sistemas de generación que utilicen como fuentes primarias energía amigable con el ambiente; para este fin, el ente regulador, CONELEC, ha desarrollado varios incentivos para fomentar el uso de fuentes de energías alternativas en el país.

El gobierno del Ecuador, en la constitución de la república en los artículos 413 y 414 señala claramente el apoyo hacia las nuevas iniciativas de proyectos que tengan que ver con la incorporación de fuentes renovables y disminución del impacto ambiental, en relación a esta temática el CONELEC ha empezado a promover a un cambio en la matriz energética propiciando que la generación de energía eléctrica en su mayor parte se la realice utilizando fuentes renovables.

El contar con datos de la irradiancia solar y determinar la demanda del hogar en estudio, permitió, encontrar la cantidad de energía que se debe producir con un panel solar para que la misma se consuma en el hogar.

## **1.2. Formulación del problema**

Insuficiente uso de sistemas de generación eléctrica con fuentes renovables en hogares unifamiliares, relacionado a la dependencia que generan los recursos no renovables en este ámbito, limitan un desarrollo sostenible que afecta al bienestar social.

## **1.3. Objeto de la Investigación**

El objeto de esta investigación se enmarca en los sistemas híbridos de generación con fuentes renovables interconectadas a la red eléctrica, el cual es muy extenso y tiene varios campos de investigación.

## **1.4. Campo de la Investigación**

El campo en el cual se alinea la investigación es, la energía fotovoltaica como sistema interconectado con la red eléctrica de la empresa distribuidora, esta fuente es renovable y proviene de la radiación solar y se la aprovecha a través de los sistemas de generación fotovoltaicos

## **1.5. Objetivos.**

### **1.5.1. General**

- Dimensionar un sistema híbrido de generación Panel Solar – Red para un hogar del barrio los Molinos ciudad de Latacunga en el año 2013.

### **1.5.2. Específicos**

- Fundamentar científica, técnica y tecnológicamente el diseño del sistema de generación Panel Solar – Red eléctrica en los hogares.
- Evaluar la demanda de energía de un hogar unifamiliar del barrio Los Molinos ciudad de Latacunga.
- Estimar la energía del sistema solar fotovoltaico para que este se enfoque en el autoconsumo.
- Evaluar la cantidad de energía que se puede disminuir del consumo abastecido por la empresa eléctrica de un hogar unifamiliar, con la implementación de un módulo solar fotovoltaico que se ubicaría en el sitio de estudio.

## **1.6. Justificación**

La necesidad de contar con fuentes de energía eléctrica que utilicen recursos renovables para funcionar en la actualidad es una realidad más notoria, la producción de energía eléctrica mediante la conversión de energías no renovables que son contaminantes al medioambiente no es sostenible a futuro dado que, un recurso no renovable en algún momento se agota y producirá una crisis en un sistema que es dependiente del mismo, por este motivo, en varios países a ocurrido una migración hacia fuentes de generación eléctrica, cuyo recurso para su producción son energías renovables, las mismas que se encuentran presente siempre en el medio y se puede decir que no se agotarán con el paso del tiempo.

La novedad científica de los resultados alcanzados en esta investigación es: la determinación de la cantidad de radiación solar existente en el sitio de estudio y evaluación de la energía que se puede producir por medio de un panel solar fotovoltaico. De esta manera, se determinó la energía que se puede suministrar con el sistema fotovoltaico y la cantidad de energía que se disminuye del suministro que brinda la empresa al hogar unifamiliar en el sitio de estudio.

## **1.7. Hipótesis**

La generación de energía a través del sistema solar fotovoltaico, permitirá abastecer parte de la demanda de energía eléctrica de un hogar unifamiliar.

## **CAPÍTULO II**

### **2. MARCO TEÓRICO**

#### **2.1. Antecedentes de la Investigación**

El estudio de la producción de energía eléctrica, a través del aprovechamiento de la radiación solar, es un tema que se ha investigado en varios países, este recurso puede ser aprovechado de dos formas, la primera es desde el punto de vista térmico, en el cuál se convierte esta radiación solar en energía térmica y la segunda es desde el punto de vista eléctrico en el cual la radiación se la convierte en energía eléctrica.

El proceso de conversión de la energía lumínica en energía eléctrica es posible gracias a la celda fotovoltaica, misma que en conjunto forman un módulo fotovoltaico, y la unión de estos constituyen un generador fotovoltaico el cual tiene la capacidad de suministrar una carga eléctrica.

En los países de Alemania e Italia se tiene la mayor cantidad de energía solar fotovoltaica instalada a nivel mundial, la utilización de este tipo de energía se lo puede realizar de dos formas, la primera es de manera aislada y la segunda es conectada a la red de la empresa eléctrica, para la implementación de este tipo de recurso, es necesario contar con reglamentos y políticas claras, en caso de no existir esto, es muy difícil el desarrollo de esta tecnología.

En Ecuador, no existe una política definida para el uso del recurso solar fotovoltaico, sin embargo se tiene por parte de varias instituciones, una de ellas, CENACE, implementados sistemas fotovoltaicos en sus instalaciones, al igual se tiene en sectores aislados y donde no se puede llegar con el servicio eléctrico sistemas de generación fotovoltaica independientes, se menciona que en el país antes del mes de junio del presente año se contaba contemplada en una regulación del, CONELEC, el mecanismo legal para la implementación de energía solar fotovoltaica, y con esta normativa fue posible la instalación y la puesta en marcha la central Paragachi ubicada en la provincia de Imbabura.

En el país, actualmente se tiene la regulación 001/13 del (CONELEC) Vigente desde 2013 – 06 -21, en esta regulación, se ubica cierto tipo de centrales

de generación con un precio preferencial, incentivando de esta manera a la inversión en fuentes de energías alternativas.

Ecuador, por su ubicación geográfica, es uno de los países que tiene una gran ventaja, con respecto a la radiación solar que recibe, la radiación incidente es casi perpendicular, y además es uno de los países que tiene más horas de sol al año.

La generación fotovoltaica conectada a la red eléctrica constituye una generación distribuida, en varios países, es una práctica normal que los usuarios de las empresas eléctricas, se convierten en proveedores del servicio eléctrico; esto sucede cuando los mismos ubican en sus hogares sistemas fotovoltaicos de generación, la investigación desarrollada se basa en evaluar, el potencial solar existente en la zona de estudio para, determinar la cantidad de energía que se puede aprovechar con un sistema de generación fotovoltaico, cuya finalidad es el autoconsumo.

## **2.2. Fundamento teórico**

Las fuentes de energía se pueden clasificar según su disponibilidad en renovables y no renovables, Según el (Instituto Tecnológico de Canarias S.A., 2008) definen a las energías renovables como una fuente inagotable de energía dado que su suministro llega de manera directa y constantemente a la tierra por medio de la radiación solar o de la atracción gravitatoria de la luna

De acuerdo a esta definición se tiene que la energía solar fotovoltaica es una fuente renovable que puede ser aprovechada sin temor de agotamiento de este recurso dado que como se menciona el potencial es inagotable y siempre se lo tiene presente en el planeta, de igual manera para él (Instituto Tecnológico de Canarias S.A., 2008) “Las energías no renovables son aquellas que existen en la naturaleza en una cantidad limitada. No se renuevan a corto plazo por eso se agotan cuando se utilizan” pág. 17.

De acuerdo a esta cita se puede concluir que este tipo de energías algún momento se llegara a agotar si se la consume en exceso, en la actualidad todo depende de los derivados del petróleo como fuente de energía principal y este recurso esta categorizado dentro de energía no renovable y algún rato se agotara y todo lo que dependa de este recurso quedará inutilizado por la escases del mismo,

dado esta realidad se fomenta la innovación en nuevos modelos de generación de energía eléctrica orientados hacia el uso de energías renovables para su proceso de conversión.

De acuerdo a (Instituto Tecnológico de Canarias S.A., 2008) desde el punto de vista de la utilización de la energía esta se puede clasificar en energía primaria que es la aquella que se obtiene directamente de la naturaleza, la secundaria que es la que se obtiene luego de un proceso de transformación de la energía primaria y la energía útil es la que se utiliza por el usuario.

### **2.3. Energía Solar**

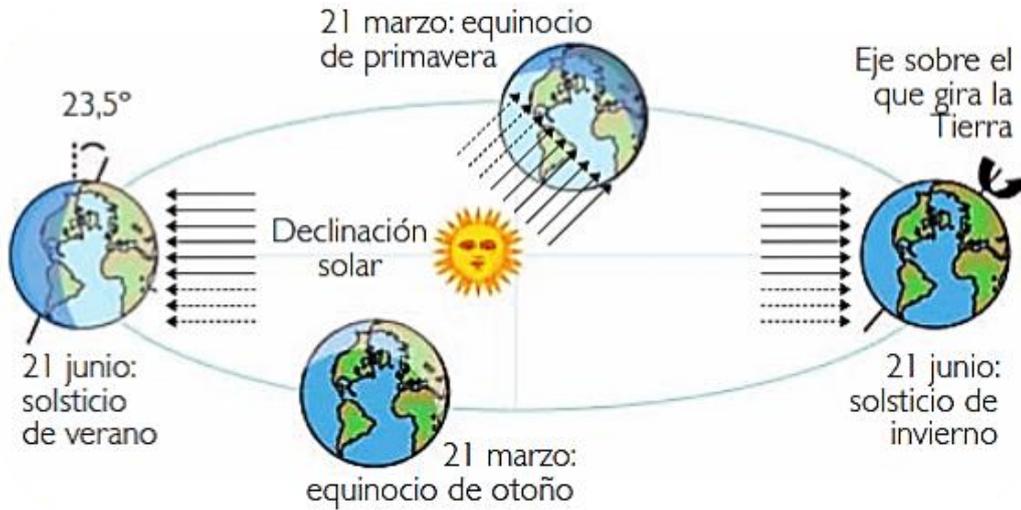
De acuerdo al artículo de la (Obra Social Caja Madrid, 2006) “La cantidad de energía que el sol vierte diariamente sobre la tierra es diez mil veces mayor que la que consume diariamente el planeta” pág. 19, esta afirmación nos permite deducir que si se pudiera aprovechar en un porcentaje pequeño esta cantidad de energía podríamos satisfacer las necesidades energéticas de todo el mundo con un recurso que prácticamente se puede considerar inagotable y que se renueva diariamente y permitiría sustituir la producción de energía que conlleve en su proceso el uso de energías no renovables y finitas en el tiempo.

La energía proveniente del sol puede ser aprovechada de dos maneras, la primera es de forma térmica en la cual se aprovecha la radiación incidente como una fuente de calor, la otra manera es transformarla en energía eléctrica por medio de un proceso de transformación en el cuál entran las celdas fotovoltaicas, además se debe considerar como se manifiesta en la (Obra Social Caja Madrid, 2006) que “todas las energías renovables excepto la geotermia y mareomotriz, son generadas de una u otra forma del sol” pág. 20.

De aquí se tiene la importancia del sol para el desarrollo de la vida y la posibilidad de que se pueda aprovechar su gran cantidad de energía para una transformación de la matriz energética que maneja el mundo llevando de esta manera a un cambio hacia el uso de las energías renovables como fuentes primarias de energía.

### 2.3.1. Radiación solar

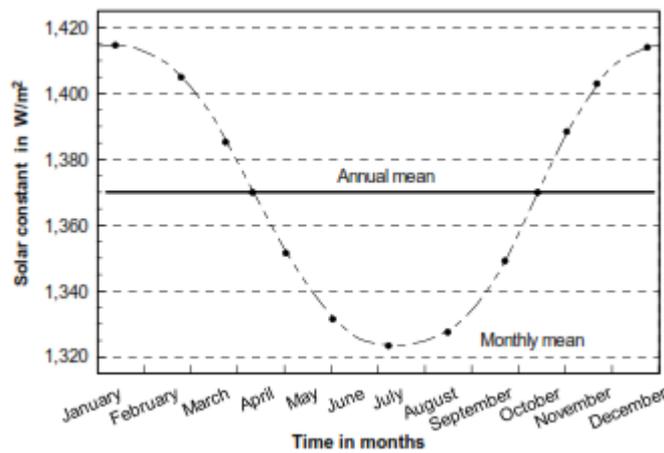
Figura. 2.1 Órbita elíptica de la tierra alrededor del sol



Fuente: (Instituto Tecnológico de Canarias S.A., 2008)

Como se muestra en la Fig. 1 el sol se encuentra en el centro de nuestro sistema planetario, la radiación solar incidente a la tierra se debe esencialmente por el recorrido que realiza la tierra alrededor del sol en su órbita elíptica, este movimiento hace que cambie la distancia entre estos cuerpos, el cambio de esta distancia produce cambios en la radiación incidente.

Figura. 2.2 Radiación solar en el año



Fuente: (Kaltschmitt, Streicher, & Wiese, 2007)

En la figura se muestra claramente la variación de la radiación solar en el transcurso del año, de acuerdo a (Kaltschmitt, Streicher, & Wiese, 2007) “la constante solar alcanza su máximo en enero en casi 1.420 W/m<sup>2</sup>, por alcanzar la distancia más corta entre el Sol y la Tierra (...) en enero, 2. Lo contrario lleva a

cabo en junio, cuando alcanza su mínimo con aproximadamente  $1330 \text{ W/m}^2$  (...)" pág. 25

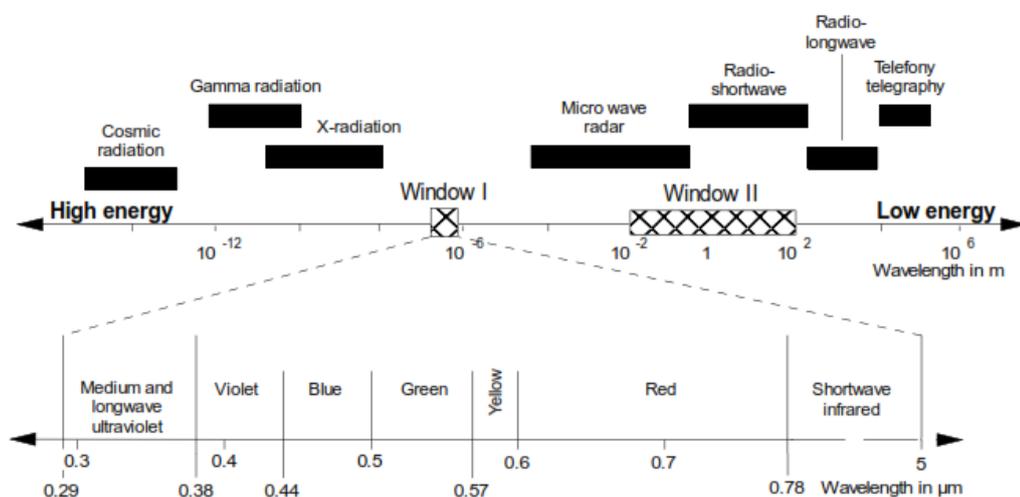
Como se puede observar entre la máxima y mínima constante solar no tiene una gran diferencia, la constante solar se define por la.

**Organización Meteorológica Mundial como el valor de irradiancia solar incidente en un plano normal al vector Sol-Tierra en el límite superior de la atmósfera terrestre. Diferentes campañas de medidas han obtenido valores diferentes para la constante solar, pero se acepta como representativo el valor promedio (...)  $B_0 = 1367 \text{ W/m}^2$  citado por (Perpiñán Lamigueiro, 2013, pág. 25)**

Como se manifiesta en esta definición es la irradiancia que se tiene en la superficie antes de pasar la atmosfera y en un punto dado, en la superficie de la tierra se tiene una radiación menor a la especificada por la constante solar dado a las pérdidas y a que no en todos los sitios el sol se encuentra perpendicular al punto de estudio, por este motivo cada país tiene distinta irradiancia.

La atmósfera nos brinda un filtro natural que nos protege de la radiación solar, Il ojo humano no tiene la capacidad de observar todo el espectro de radiación que proviene del sol.

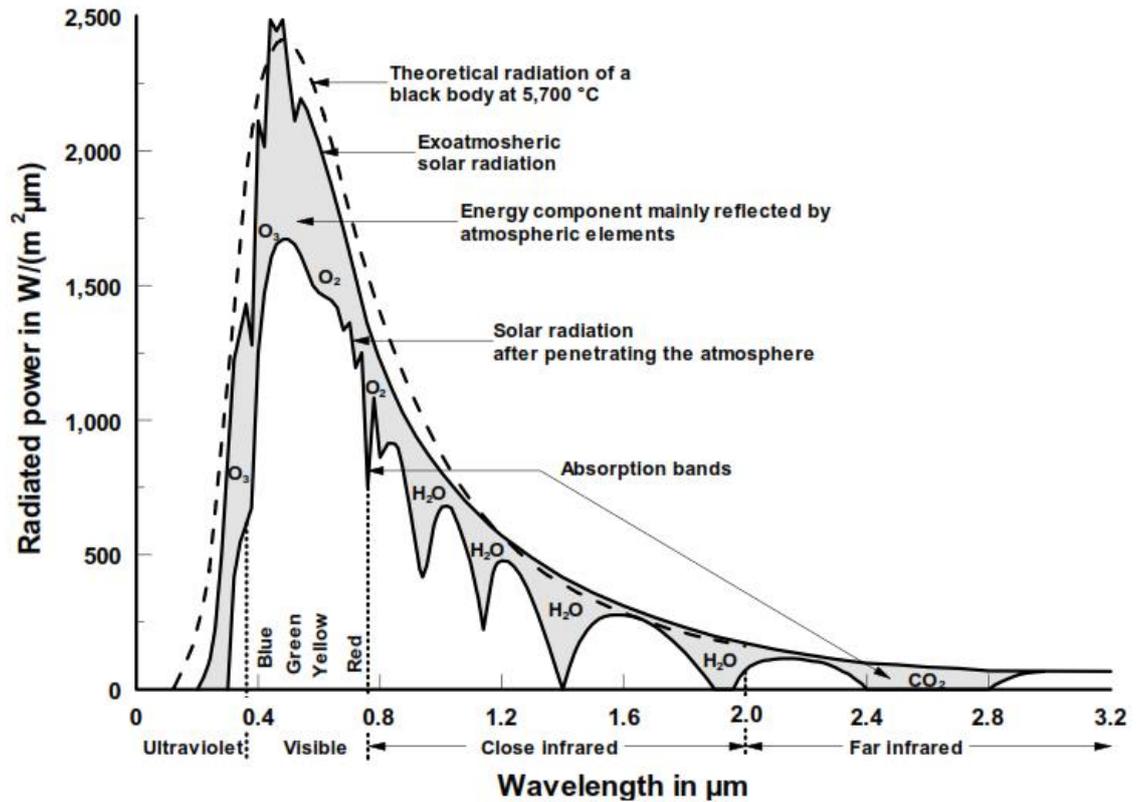
Figura. 2.3. Espectro de radiación.



Fuente: (Kaltschmitt, Streicher, & Wiese, 2007)

La ventana I y ventana II del gráfico indica la radiación solar que pasa a través de la atmósfera, el resto de radiación es filtrada por esta, sin la presencia de esta atmósfera no sería posible el desarrollo de la vida en el planeta.

Figura. 2.4. Espectro de radiación al pasar a través de la atmósfera.



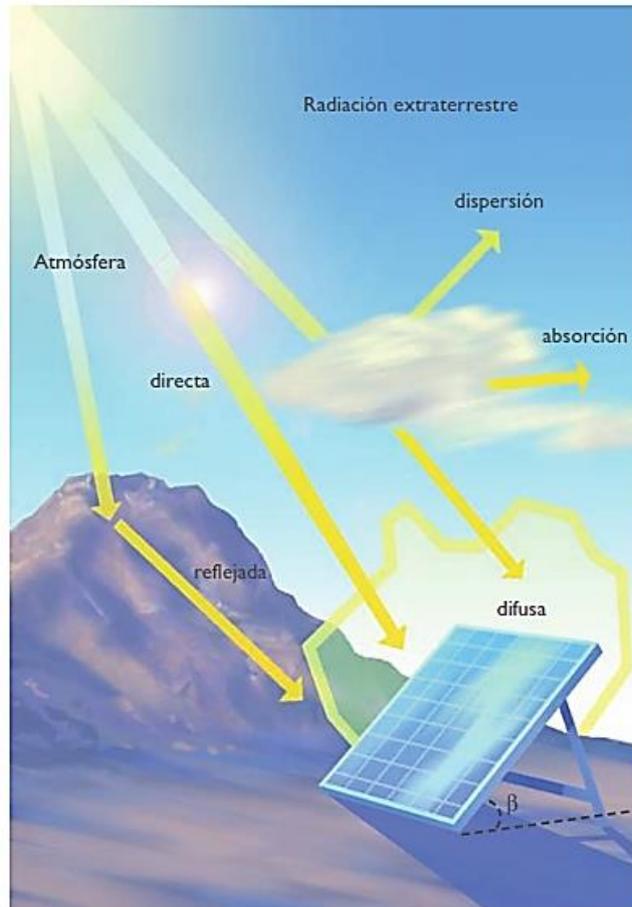
Fuente: (Kaltschmitt, Streicher, & Wiese, 2007)

En la figura 4 se observa claramente el filtro de la radiación que nos brinda la atmósfera dejando pasar solo parte de la radiación solar incidente en el espacio extraterrestre del planeta.

### 2.3.1.1. Tipos de Radiación Solar Incidentes en la superficie terrestre

Como se manifestó anteriormente no toda la radiación que incide en el planeta ingresa a la superficie terrestre, la radiación que pasa la atmósfera puede ser reflejada una parte por las nubes, otra parte es absorbida por el suelo y otra llega directamente como se muestra en la siguiente figura.

Figura.2.5. Tipos de Radiación en la superficie terrestre.



Fuente: (Instituto Tecnológico de Canarias S.A., 2008)

De la figura se puede decir que la radiación puede llegar a nuestro planeta de tres formas distintas, radiación directa, difusa y reflejada o albedo.

Según el (Instituto Tecnológico de Canarias S.A., 2008) La radiación directa es aquella que llega directamente del sol y es la predominante en los días soleados, la radiación difusa es la que nos llega después de haber incidido con cualquier elemento de la atmósfera y es predominante en un día nublado, finalmente la radiación reflejada es la que se refleja en la superficie.

El término de radiación solar se utiliza de manera general sin hacer distinción entre la Irradiancia y la Irradiación.

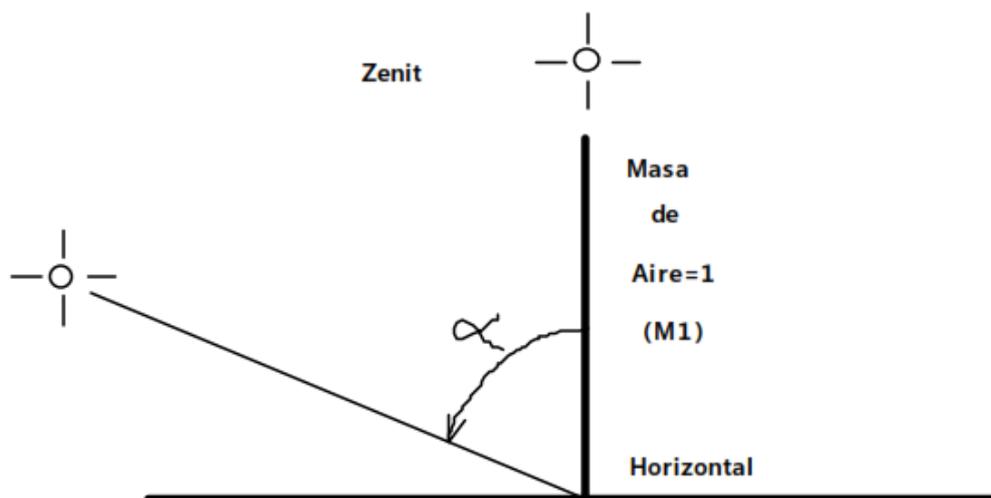
**(Perpiñán Lamigueiro, 2013) Define La Irradiancia solar es la potencia de radiación solar por unidad de**

área incidente en una superficie. Sus unidades en el S.I. son  $W/m^2$  y la Irradiación solar es la integral durante un período temporal de la irradiancia y, por tanto, es la energía de radiación solar por unidad de área incidente en una superficie. Sus unidades en el S.I. son  $Wh/m^2$ .  
pág. 25.

Para la medición de cada una de las radiaciones incidentes en la superficie terrestre se tiene los siguientes equipos, Piranómetro que mide la radiación global o difusa, Pirheliómetro que mide la radiación directa y Pirgeómetro que mide la radiación reflejada, en la práctica la radiación global es la que incide en el panel solar por lo que con esta radiación es la que va a contar el panel solar fotovoltaico para su proceso de conversión.

Una de las especificaciones técnicas que dan los fabricantes de paneles solares es la masa de aire que no es más que la posición relativa del sol respecto a la horizontal.

Figura. 2.6. Masa de Aire.



Fuente: (Gasquet, 2004)

De acuerdo a (Gasquet, 2004) la masa de aire es igual a 1 (M1) cuando el sol está en la posición del zenit y la misma se puede calcular por la siguiente ecuación. Masa de Aire=  $1/\cos \alpha$ .

De lo que se puede observar en la figura el ángulo  $\alpha$  varía entre 0 y 90°, de acuerdo a la ecuación para valores mayores de cero se tiene que la masa de aire va a ser mayor que la unidad lo que se puede entender como que la radiación directa debe atravesar una distancia mayor dentro de la atmósfera.

Para el espectro luminoso fuera de la atmósfera algunos autores designan arbitrariamente el valor de  $M= 0$ , este valor no tiene ningún sentido matemático. (Gasquet, 2004)

### **2.3.2. Energía Solar Fotovoltaica**

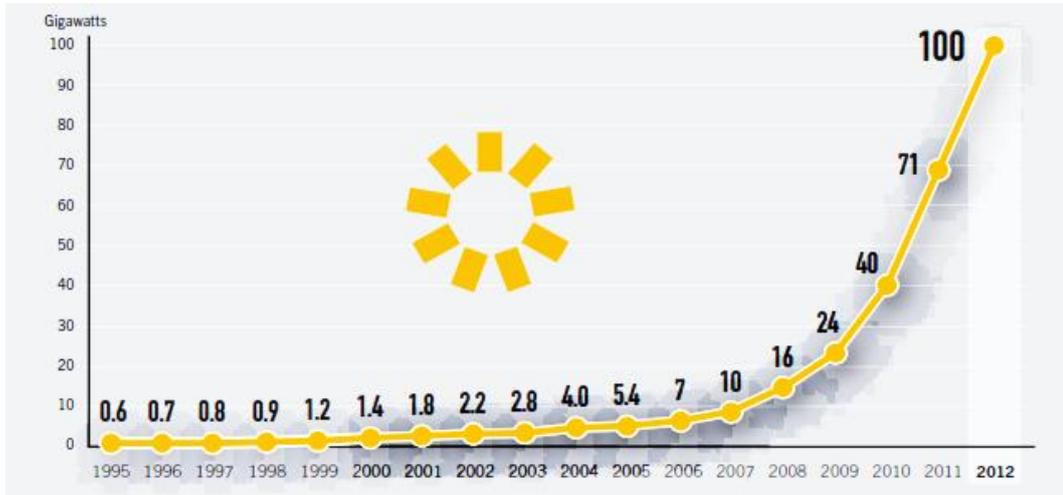
**(GREENPEACE, 2005) En primer lugar, para generar electricidad solar fotovoltaica se necesita un generador fotovoltaico, es decir, un conjunto de módulos conectados entre ellos junto con el cableado y, en su caso, los soportes de la instalación. Pág. 22.**

De acuerdo a lo manifestado es indispensable el contar con el conjunto de módulos conectados de tal manera que permitan proveer el voltaje y la corriente necesarios para poder alimentar determinadas cargas.

Este tipo de energía aprovecha la radiación solar que incide hacia la superficie terrestre para transformarla a energía eléctrica por medio de las células fotovoltaicas las cuales debido a la incidencia de la radiación solar sufren una excitación en el material semiconductor provocando el movimiento de los electrones del material por el interior del mismo, produciendo de esta forma una circulación de energía eléctrica cuando se cierra el circuito.

La energía eléctrica producida por medio de los paneles solares fotovoltaica tiene la ventaja de ser energía que se puede producir en el sitio de la demanda, evitando así costos adicionales por transporte de la energía y pérdidas en las líneas que las transportan, estos sistemas resultan económicamente rentables para sitios alejados de los puntos donde se tiene el tendido de las redes eléctricas de las empresas de distribución.

Figura. 2.7. Capacidad Global Fotovoltaica Solar, 1995 – 2012.

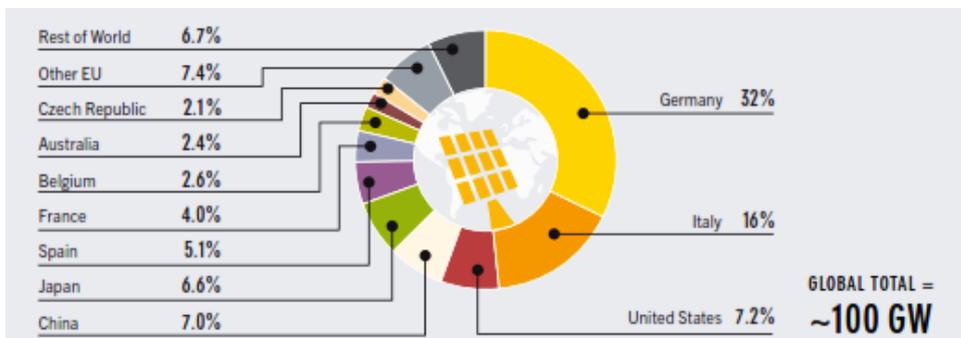


Fuente: (REN21, 2013)

Como se puede observar en la figura ha existido un gran crecimiento el tema de la energías solar fotovoltaica desde 1995 a 2012, cabe recalcar que el máximo crecimiento de este tipo de energías se da desde el año 2008 a 2012 en el cual la curva comienza a aumentar de gran manera, en total en el mundo se puede observar que existe una capacidad instalada de este tipo de energía en un total de 100 GW.

Este cambio en los últimos años es muy probable a que se deba al mejoramiento en la tecnología con respecto a este tipo de generadores, incentivos de algunos gobiernos que promueven un cambio en la matriz energética tratando de orientar la misma a este tipo de producción de energías.

Figura. 2.8. Capacidad Fotovoltaica Solar Global, Participación de las 10 principales ciudades, 2012.



Fuente: (REN21, 2013)

De acuerdo a lo que se tiene en la figura 8 se evidencia que el país que más ha impulsado este tipo de energías es Alemania con un 32%, el país que le



La posición del sol viene determinada por la altura y el azimut del mismo, que son las que nos proporcionan la posición del sol referida al plano del horizonte.

Del gráfico podemos identificar las principales características que se deben tener en cuenta para el posicionamiento en función del sol.

De acuerdo a (Facultad de Arquitectura Universidad ORT, 2009) se definen los siguientes términos

Ángulo de Altitud Solar ( $\gamma_s$ ).- es el ángulo formado entre la horizontal y la dirección del Sol, es decir, el ángulo de altitud solar corresponde al complemento del ángulo cenital

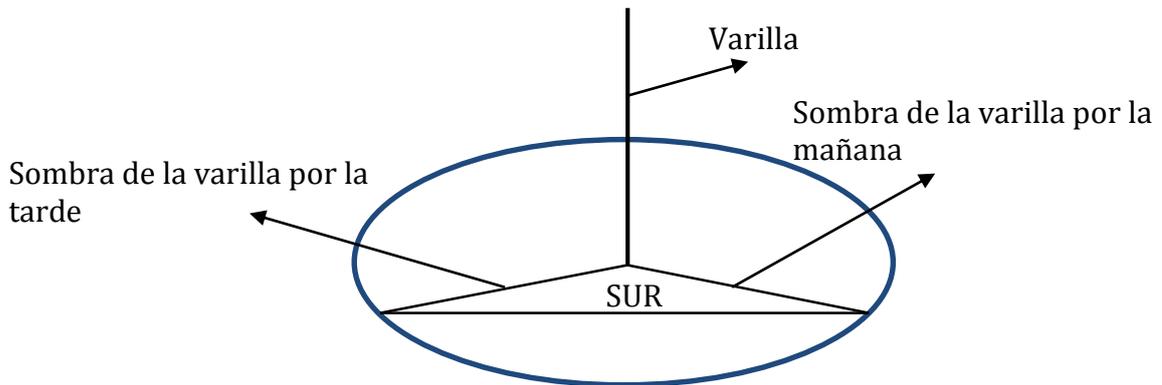
Ángulo Azimutal de superficie ( $\Psi_s$ ).- corresponde al ángulo formado entre la dirección norte-sur y la proyección en el plano horizontal de la recta normal a la superficie del colector solar.

Ángulo Zenital ( $\theta_{zs}$ ).- es el ángulo formado entre la vertical a un observador local y el rayo de la componente directa de la radiación

Para la instalación del panel solar fotovoltaico se lo debe orientar hacia el sur geográfico de acuerdo a lo que se manifiesta en (Ente Regional de La Energía de Castilla León, 2004) el sur geográfico no coincide con el magnético dado por la brújula y se lo puede determinar siguiendo el siguiente procedimiento.

**Dos o tres horas antes del mediodía solar, colocar una varilla en el suelo, medir su sombra y hacer una señal, hacer un círculo con la medida de la sombra en el suelo, por la tarde, cuando la sombra tenga otra vez la medida del círculo hacer otra señal, la recta que une ambas señales, mirando hacia la varilla, está orientada al sur geográfico. Pág. 57.**

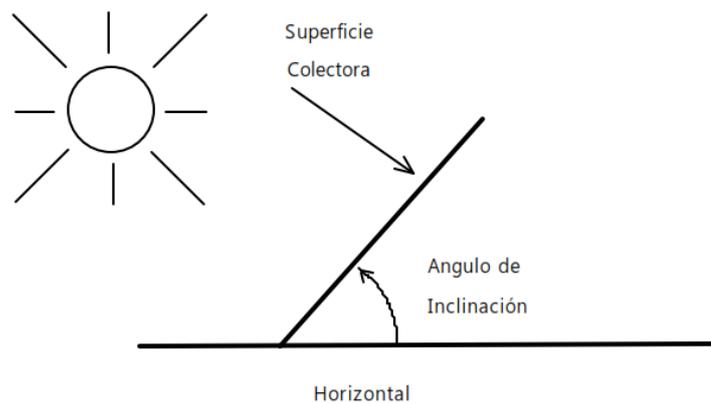
Figura. 2.10. Determinación práctica del sur geográfico



Realizado por el autor  
Fuente: (Ente Regional de La Energía de Castilla León, 2004)

Como se muestra en la figura 10 se tiene desarrollado este procedimiento que es práctico y sencillo y que se lo debe ejecutar para

Figura. 2.11. Ángulo de Inclinación



Fuente: (Gasquet, 2004)

En la Figura se indica claramente el ángulo de inclinación del panel solar, este ángulo debe ser tal que la radiación solar llegue a la superficie colectora o al panel fotovoltaico en forma perpendicular para aprovechar al máximo esta radiación.

### 2.3.2.2. Celda o Célula Solar

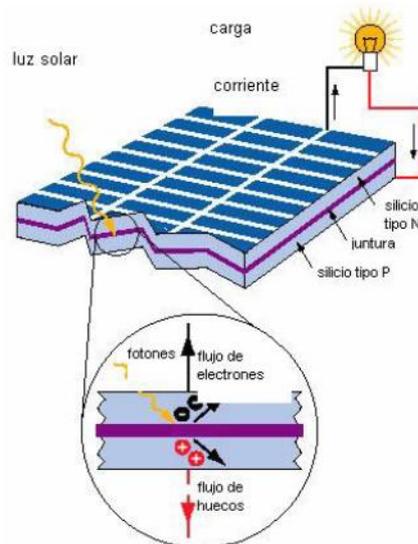
Según (ECATEPEC de Morelos, 2009) para que se produzca la transformación de la energía solar incidente en energía eléctrica se requiere que se cumplan tres aspectos fundamentales, primero debe existir una unión p-n, segundo la incidencia de los fotones deben tener igual o mayor energía que la banda

prohibida del semiconductor y finalmente el tercer aspecto que menciona es que se deben tener producción de portadores de cargas libres (electrones y huecos).

Una celda solar efectivamente tiene una unión p-n que convierte directamente la radiación solar en energía eléctrica, en esta celda solar al incidir la luz solar se tiene un voltaje en terminales y al igual que si se cierra el circuito se produce una circulación de corriente y por lo tanto se puede obtener una potencia en la celda solar, misma que puede servir para alimentar una carga.

En la Figura 9 se muestra la estructura típica de una celda solar de Silicio, en las especificaciones de las celdas fotovoltaicos se tiene como parámetros importantes el voltaje a circuito abierto ( $V_{oc}$ ), corriente de cortocircuito ( $I_{sc}$ ) el factor de llenado o de forma (FF) y la eficiencia  $\eta$ .

Figura. 2.12. Esquema de instalación fotovoltaica aislada.



Fuente: (ECATEPEC de Morelos, 2009)

La corriente de cortocircuito es la corriente que atraviesa la celda solar cuando el voltaje entre sus terminales es nulo, esto es, cuando la celda solar está cortocircuitada. El valor de  $I_{sc}$  depende de la generación y recolección de los portadores creados por la luz. La corriente de corto circuito es proporcional a la intensidad de la luz incidente sobre la celda solar.

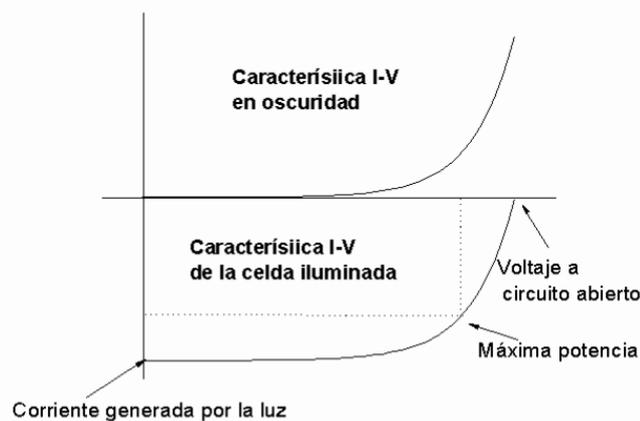
El voltaje a circuito abierto es el máximo voltaje que aparece entre los terminales de la celda solar y ocurre para valores de corriente nulo. El voltaje a

circuito abierto es consecuencia de la polarización positiva o directa de la unión p-n cuando la luz incide sobre la celda solar.

La corriente de cortocircuito y el voltaje a circuito abierto son los máximos valores de corriente y voltaje que se pueden extraer de una celda solar, sin embargo en estos puntos de operaciones la potencia  $P = I \cdot V = 0$ . Por ello es necesario encontrar un punto de la curva  $I-V$  en donde el producto  $I \cdot V$  tenga un máximo valor. En la Figura 10 se muestra que este punto corresponde a  $(I_{mp}, V_{mp})$ . El factor de llenado se define como la razón entre la potencia máxima obtenida y el producto  $I_{sc} \cdot V_{oc}$ . (Bube, 1998).

$$FF = \frac{I_{mp} \times V_{mp}}{I_{sc} \times V_{oc}} \quad (2.1)$$

Figura. 2.13. Dependencia I – V de una celda solar en oscuridad y bajo iluminación.



Fuente: (ECATEPEC de Morelos, 2009)

Según (Perpiñán Lamigueiro, 2013) La corriente de iluminación o fotocorriente, debida a la incidencia de fotones, circula desde la región n a la región p. La corriente de oscuridad o corriente de diodo, debida a la recombinación de portadores favorecida por la tensión en el circuito externo circula desde la región p hacia la n

En la figura se muestra claramente la relación voltaje corriente cuyo producto refleja la potencia en cada instante y se puede observar que el punto de máxima potencia se produce en el momento exacto en la que la curva comienza a declinar.

La eficiencia de la celda solar o simplemente eficiencia se define como la razón de la potencia eléctrica máxima que puede suministrar la celda entre la potencia ( $P$ ) que se encuentra entregando la celda en un instante dado con una radiación incidente determinada:

$$\eta = \frac{I_{mp} \times V_{mp}}{P} = \frac{I_{sc} \times V_{oc}}{P} FF \quad (2.2)$$

### **2.3.2.3. Clasificación de las celdas fotovoltaicas**

De acuerdo a (Ente Regional de La Energía de Castilla León, 2004) se pueden tener tres tipos principales de celdas fabricadas mediante la cristalización de silicio.

Silicio monocristalino, en las que el silicio que compone las células está formado por un único cristal, cuya red cristalina es idéntica en todo el cristal y caracterizada por la solidificación de los átomos de silicio en tres direcciones espaciales perpendiculares entre sí y sin imperfecciones.

Silicio policristalino, en la que los procesos de cristalización del silicio no son ordenados, obteniéndose redes cristalinas diferentes en cada cristal y conformándose la célula mediante la unión de diferentes cristales.

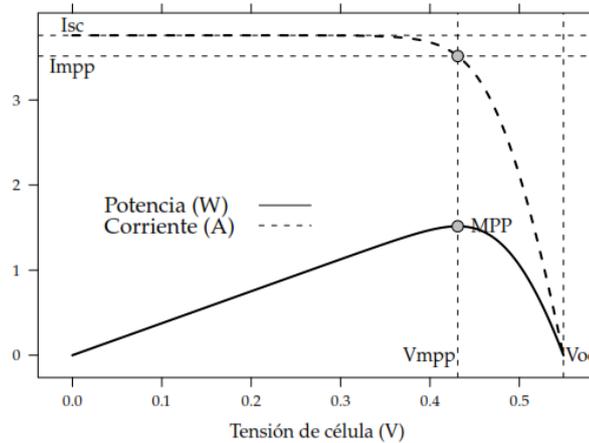
Silicio Amorfo, en el cual no hay red cristalina alguna y el material es depositado sobre finas capas que se unen entre sí.

### **2.3.2.4. Módulo Fotovoltaico**

Un módulo fotovoltaico no es más que un conjunto de celdas solares conectadas entre sí de tal manera que este pueda tener ciertas características de voltaje y corriente que satisfaga cierta carga que se ubique en sus terminales.

Estos módulos tienen al igual curvas de  $V - I$  de acuerdo a la radiación incidente en los mismos como se muestra en la figura 2.14

Figura. 2.14. Curva corriente – voltaje y potencia - voltaje.



Fuente: (Perpiñán Lamigueiro, 2013)

De igual modo que en el caso de las celdas solares en este tipo de módulos se tienen el voltaje en vacío y de cortocircuito del sistema fotovoltaico y también se puede determinar el punto en el que el módulo puede generar su máxima potencia.

**(Instituto Tecnológico de Canarias S.A., 2008) Los datos de los paneles solares fotovoltaicos se miden en condiciones estándares de  $1000 \text{ W/m}^2$  de radiación solar y  $25^\circ \text{ C}$  de temperatura de las células fotovoltaicas. La máxima potencia generada en estas condiciones por cada módulo fotovoltaico se mide en  $\text{Wp}$ ; a esta potencia se la denomina potencia nominal de módulo. pág. 64.**

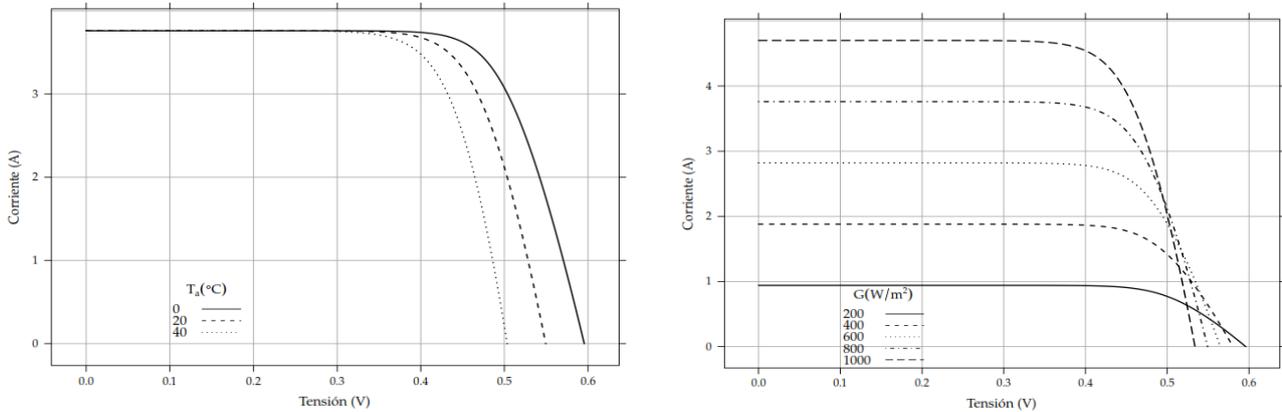
Para efectos de cálculo de la potencia de generación no se debe considerar los datos de  $\text{Wp}$  dado que la radiación incidente en los módulos fotovoltaicos varía en el transcurso del día y dado este motivo la energía que suministra el panel también se ve afectada.

La vida útil de estos módulos fotovoltaicos se encuentra aproximadamente comprendida entre 25 y 30 años.

La temperatura es uno de los factores que puede afectar el rendimiento de los módulos fotovoltaicos, un aumento de este parámetro producirá una disminución del voltaje de circuito abierto provocando una disminución de la potencia. La irradiancia en cambio es un factor que influye en la intensidad de

cortocircuito de tal manera que incremento en este parámetro produce de igual manera un incremento en el valor de la corriente de cortocircuito.

Figura. 2.15. Variación de Voltaje y Corriente en función del voltaje y la irradiancia.



Fuente: (Perpiñán Lamigueiro, 2013)

Según (Ente Regional de La Energía de Castilla León, 2004) “La potencia del panel puede llegar a disminuir aproximadamente un 0,5% por cada grado por encima de 25°C que aumente la temperatura del módulo” pág. 25.

Lo expuesto en esta cita es un valor referencial que se puede tomar para el caso del incremento en la temperatura y la afectación que se llegaría a tener.

De acuerdo a (Ente Regional de La Energía de Castilla León, 2004) se puede definir la eficiencia de un módulo como la potencia eléctrica producida por un módulo y la radiación incidente sobre el mismo.

Cuadro 2.1. Eficiencia típica de módulos comerciales de silicio

TECNOLOGÍA	EFICIENCIA (%)
Silicio Monocristalino	14 – 16
Silicio Policristalino	10 – 12
Silicio Amorfo	6 – 8

Realizado por el Autor

Fuente: (Ente Regional de La Energía de Castilla León, 2004)

De la tabla que se presenta se puede observar claramente que la tecnología que ofrece una mejor eficiencia es el de silicio monocristalino y de igual forma se tiene que la fabricación de este tipo de tecnología es más cara.

### **2.3.3. Sistema De Generación Eléctrica Fotovoltaica**

Como se mencionó anteriormente la base de esta energía se encuentra en transformar la energía lumínica brindada por el sol en energía eléctrica, para esta conversión es necesario contar con un dispositivo que permita realizar esto, en este caso es la Celda solar.

De acuerdo a lo que menciona (EE.RR. - IDAE, 2008) indica que la energía del sistema fotovoltaico puede ser aprovechada de dos maneras, la primera que las cargas consuman directamente la corriente continua que produce el módulo o la segunda es transformar esta corriente en corriente alterna y llevarlas a las respectivas cargas que se posea.

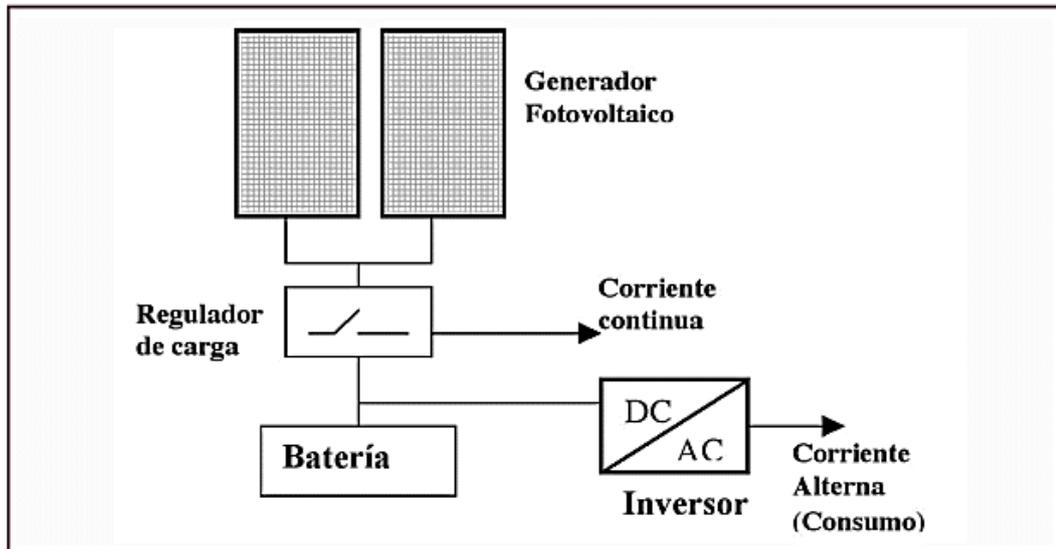
En el caso de los sistemas de generación eléctrica fotovoltaica se los puede clasificar en dos tipos, el primero es un sistema aislado de la red eléctrica y el segundo es un sistema conectado a la red eléctrica.

#### **2.3.3.1. Sistemas aislados de la red eléctrica**

**Este tipo de sistemas de acuerdo a (Instituto Tecnológico de Canarias S.A., 2008) “se emplean en lugares con acceso complicado a la red eléctrica y en los que resulta más fácil y económico instalar un sistema fotovoltaico que tender una línea de enganche a la red eléctrica general” pág. 66**

De acuerdo al texto citado se tiene que en este caso que este tipo de sistemas prácticamente se encuentran instalados en sitios alejados donde por alguna circunstancia el suministro eléctrico no ha podido llegar, en este caso se pueden encontrar las zonas rurales, para este tipo de situaciones puede llegar a ser rentable en brindar el servicio de energía eléctrica a través de sistemas fotovoltaicos dado que este tipo de sistemas son instalados en sitio y la energía se produce junto a la carga.

Figura. 2.16. Esquema de instalación fotovoltaica aislada.



Fuente: (Obra Social Caja Madrid, 2006)

De la figura se puede observar que es necesario para este tipo de sistemas el contar con los paneles fotovoltaicos los que son encargados de generar la electricidad en corriente continua, el regulador de carga el cual es el encargado de controlar el proceso de carga y descarga de las baterías alargando su vida útil, las baterías que se encargan de almacenar energía para abastecer la carga en horas en los que el generador fotovoltaico no pueda hacerlo y los inversores que son los encargados de transformar la corriente continua en alterna que es la que se utiliza de manera habitual en los hogares.

En la figura 9 se puede notar que pueden existir cargas en corriente continua, de ser el caso que todas las cargas sean de continua se puede evitar instalar el inversor.

Estos sistemas también se los instala comúnmente en sitios para señalización y bombeo en los cuales no existe el recurso eléctrico disponible.

### **2.3.3.2. Banco de Baterías**

En este tipo de sistemas el banco de baterías es un elemento necesario e indispensable para el correcto funcionamiento de la instalación, este elemento es el encargado de almacenar la energía excedente producida en el día para ser consumido en la noche, también nos permite mantener una reserva para días nublados.

De acuerdo a lo que indica el (Ente Regional de La Energía de Castilla León, 2004) “la autodescarga del acumulador a 25°C no excederá el 6% de su capacidad nominal por mes”

Esto indica que las características de las baterías a utilizarse en el sistema solar fotovoltaico deben estar dentro de este parámetro recomendado.

Es fundamental disponer de una reserva antes mencionada dado que en este tipo de sistemas el único que proporcionaría energía para a la carga y en caso de falta del recurso primario y falla del sistema de reserva prácticamente la carga quedaría desabastecida.

Dentro de las características de las baterías se tiene la capacidad de almacenamiento o capacidad de carga de acuerdo a (Obregoso & Arivilca, 2010) se define como la cantidad de energía que una batería puede almacenar y se mide en amperios – hora (Ah), esto indica la cantidad de energía que puede generar una batería antes de descargarse completamente.

Esta característica ayuda a determinar el tiempo con el cual se puede contar de energía de manera autónoma (sin que reciba carga) la batería por decir si la batería es de 100 Ah y se tiene una carga de 20 A eso significa que se puede estimar que la batería se descargara completamente en 5 horas, la capacidad de almacenamiento estimada es un parámetro general, y no una medida exacta, del tamaño de la batería ya que la capacidad cambia de acuerdo a la antigüedad, estado de la batería así como la velocidad a la que se sustrae la energía. Si la corriente se extrae rápidamente de la batería, su capacidad se reduce.

De acuerdo a (Obregoso & Arivilca, 2010) “la cantidad de energía recibida por una batería se la puede determinar aproximadamente multiplicando la corriente de carga por el tiempo de carga”

$$Q \text{ (Cantidad de carga Ah)} = I \text{ (Corriente de carga A)} * T \text{ (Tiempo h)}$$

(Obregoso & Arivilca, 2010) Indica que “no se debe cargar baterías a una corriente mayor de un décimo de su capacidad estimada”.

Esto quiere decir que una batería de 150 Ah no debe ser cargada a una corriente superior a 15 amperios.

La corriente de descarga en una batería representa la velocidad a la que se sustrae corriente de la batería, para calcular la cantidad de energía extraída de una batería simplemente se multiplica la corriente de descarga por el tiempo de uso de la carga, es decir si se tiene una carga de 2 amperios la cual va a trabajar durante 5 horas, la cantidad de energía de descarga sería de 10 Ah.

En este tema de las baterías es importante conocer el estado de carga de la misma la cual representa la cantidad de energía restante en esta. En el caso de una batería plomo – ácido, es posible medir su estado de carga utilizando un higrómetro o un voltímetro.

En una batería se debe tener en cuenta la profundidad de descarga de la misma, esta no es más que la cantidad en porcentaje que se ha descargado una batería en un proceso de descarga. De acuerdo al (Ente Regional de La Energía de Castilla León, 2004) existen descargas superficiales (20%) y descargas profundas (80%).

**Según (Ente Regional de La Energía de Castilla León, 2004) La vida del acumulador (hasta que su capacidad residual caiga por debajo del 80% de su capacidad nominal) debe ser superior a 1000 ciclos, cuando se descarga el acumulador hasta una profundidad del 50%.**

Lo citado anteriormente indica que las baterías que se deben utilizar para las instalaciones de sistemas fotovoltaicos aislados de la red deben ser de ciclo profundo y no se puede permitir que se descargue más del 50%

También se indica que la vida útil de la batería según el (Ente Regional de La Energía de Castilla León, 2004) “depende de los procesos de carga y descarga, de forma que cuanto menos profundos sean estos, mayor será la duración de la batería”

Las medidas de seguridad que se debe tener en cuenta al momento de instalar las baterías son:

- Instalarse en sitios ventilados
- Mantener el nivel de electrolito que indique el fabricante
- Cubrir las bornas con vaselina una vez estén conectadas

### **2.3.3.3. Regulador de carga.**

Este componente tiene la finalidad de producir el acople correcto entre el módulo, la batería y la carga.

De acuerdo a (Obregoso & Arivilca, 2010) el regulador de carga debe cumplir con la siguientes funciones.

- Dirige la electricidad generada en los módulos Foto voltaicos hacia el uso final si el tiempo de demanda de electricidad coincide con las horas de sol.
- Dirige la electricidad generada en los módulos Foto voltaico hacia la batería, en caso que haya un exceso de potencia solar (la potencia generada es mayor que la demanda de potencia)
- Impide daños en los cables y evitar cortocircuitos en todo el Sistema fotovoltaico domiciliario.
- Hace que la batería dure más tiempo.
- Protege y sirve para impedir la eventual corriente que pueda fluir de la batería hacia el módulo en periodos sin sol.
- Proteger la(s) batería(s) de los riegos de sobrecarga y descarga profunda, regulando la entrada de corriente proveniente del módulo a la batería y la salida de corriente de la batería a la carga (aparatos, equipos), evitando que la batería se sobrecargue o que trabaje con voltajes por debajo de lo permitido.

El regulador también se convierte en una fuente de información de los parámetros eléctricos de la instalación fotovoltaica.

Este tipo de reguladores de acuerdo a lo escrito en él (Ente Regional de La Energía de Castilla León, 2004) se los puede clasificar en dos tipos.

En paralelo, en este caso se controla la sobrecarga cortocircuitando el campo fotovoltaico y disipando la energía en forma de calor. La sobredescarga en cambio es controlada interrumpiendo la línea baterías – consumo.

En serie, en este caso se tiene que para controlar la sobrecarga se interrumpe la línea campo fotovoltaico – baterías. La sobredescarga se controla de igual manera que el caso anterior.

El regulador conectado en paralelo tiene la desventaja de desperdiciar energía en forma de calor por lo que en este caso no se debería utilizar el mismo en instalaciones de grandes potencias.

En la siguiente figura se puede notar claramente que en el caso de la conexión en paralelo se tiene ubicado un diodo de bloqueo para evitar descargas indebidas, también se debe notar que para cualquiera de los dos casos el voltaje de referencia es el de la batería nunca se trabaja de manera aislada de esta.

Figura. 2.17. Esquema eléctrico de un regulador de carga.



Fuente: (Perpiñán Lamigueiro, 2013)

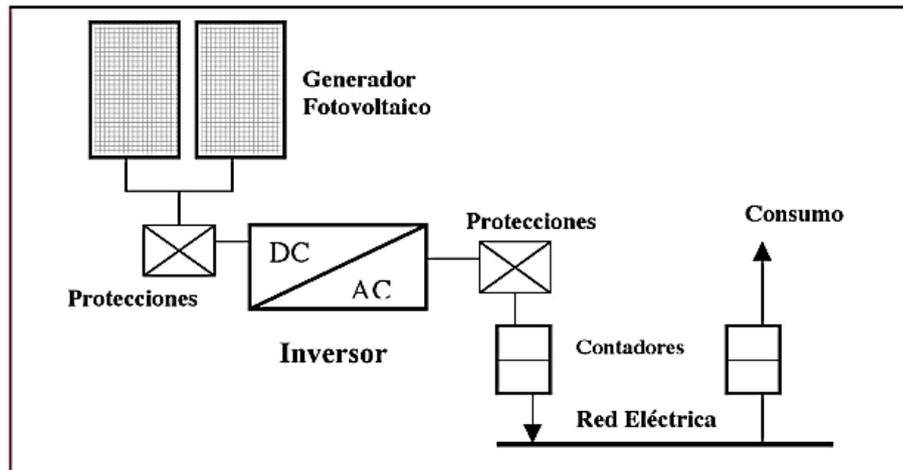
#### 2.3.3.4. Sistemas Conectados a la red

En este tipo de sistemas según (Ente Regional de La Energía de Castilla León, 2004) “la generación eléctrica de la instalación solar es destinada, íntegramente, a su venta a la red eléctrica de distribución convencional” pág. 16.

De acuerdo a lo que se menciona este tipo de energía debería destinarse en su totalidad a la venta a la red de distribución independientemente del consumo del sitio en el cual se encuentre instalado el sistema fotovoltaico, esto es posible realizarlo en países los cuales tengan implantados una política energética orientada hacia la energía distribuida.

En el caso de Ecuador no existe esta política motivo por lo cual se puede enfocar este proyecto al autoconsumo, es decir, todo lo que se genere se debe consumir en el sitio en el que se realice la instalación del sistema fotovoltaico.

Figura. 2.18. Esquema de instalación fotovoltaica conectada a la red.



Fuente: (Obra Social Caja Madrid, 2006)

En el sistema de la figura 12 se puede observar claramente que no se encuentra presente el regulador de carga ni las baterías, esto se debe a que este tipo de sistemas se enfoca a que toda la energía que se genere se distribuya a través de la red eléctrica.

En España estos sistemas se enfocan directamente en suministrar la energía producida a la red de distribución a cambio de un pago por la misma, es muy común ver este tipo de sistemas en los tejados de las casas dado que los mismos no necesitan de mucho mantenimiento.

### 2.3.3.5. Inversor DC/AC

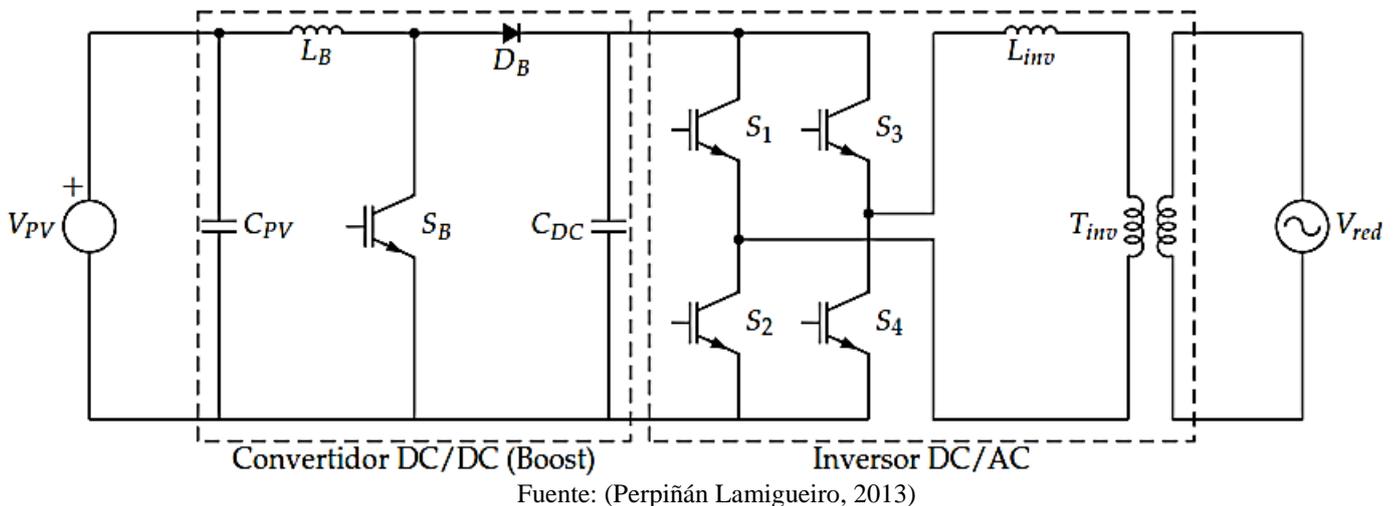
En el caso de este tipo de sistemas conectados a la red es necesario el inversor el cual debe permitir adaptar el voltaje, la frecuencia y buscar siempre el punto de máxima potencia (MPP) del generador fotovoltaico para permitir conectarse a la red eléctrica de una manera eficiente.

De acuerdo a lo establecido por (Perpiñán Lamigueiro, 2013) un inversor puede estar compuesto por los siguientes bloques.

- Filtro de entrada: atenúa el rizado que produce la conmutación en la corriente de entrada.
- Convertidor DC/DC: adecúa (eleva o reduce) la tensión de salida del generador a la tensión necesaria para el puente de conmutación. Puede realizar las funciones de búsqueda del punto de máxima potencia.

- Puente inversor: realiza el troceado de la señal continua para convertirla en alterna.
- Filtro de salida: elimina o atenúa los armónicos no deseados.
- Transformador: adecua el valor de tensión de salida del puente al de la red y proporciona aislamiento galvánico entre la parte DC y AC.
- Control: realiza la supervisión de la entrada y salida del convertidor DC/DC y del puente inversor y entrega las consignas correspondientes para localizar y seguir el MPP del generador, y para obtener una señal sinusoidal con bajo contenido en armónicos en la salida del inversor.

Figura. 2.19. Esquema de un inversor monofásico con topología voltaje source invertir (VSI).



(Perpiñán Lamigueiro, 2013) Indica que para los sistemas de conexión a red se tiene:

- Los inversores incorporan un algoritmo de búsqueda del punto de máxima potencia. Es común que este algoritmo este incorporado en un sistema de control que actúa sobre el voltaje de entrada de un convertidor DC/DC situado en la entrada del inversor. De esta manera, el sistema de control impone al generador fotovoltaico un valor de voltaje de trabajo.
- El proceso de conmutación del convertidor elevador y el puente inversor produce a la entrada un rizado que debe ser filtrado. Para reducir este rizado,

los inversores suelen incorporar en su entrada un filtro compuesto por condensadores. El comportamiento de un condensador reduce las variaciones de voltaje en la entrada del inversor.

Estos dos factores mencionados permiten asumir que la entrada del puente de conmutación se comporta como una fuente de voltaje, el voltaje de salida del inversor siempre es fijado por la red eléctrica.

En el caso de la búsqueda de la localización del MPP del generador fotovoltaico este se localiza por un algoritmo de búsqueda, para esto el sistema de control debe recabar información sobre el funcionamiento del sistema y modificara las condiciones de generador para que trabaje en el MPP.

Entre los algoritmos de búsqueda se pueden citar dos de ellos el primero es denominado “perturbar y observar” (P&O, perturb and observe) y el segundo es denominado “conductancia incremental”.

De acuerdo a (Perpiñán Lamigueiro, 2013) El primer algoritmo se basa en que “cuando el generador está funcionando en un punto, el algoritmo introduce una modificación en el punto de trabajo (perturb) y mide la potencia resultante en el nuevo punto de trabajo (observe)”.

Teniendo en cuenta la potencia y tensión del punto anterior a la modificación, este algoritmo puede decidir el lugar de la curva en el que se encuentra el punto de trabajo.

$$\text{Curva Potencia – Tensión: } \begin{cases} \frac{dP}{dV} > 0 & 0 < V < V_{mpp} \\ \frac{dP}{dV} = 0 & V = V_{mpp} \\ \frac{dP}{dV} < 0 & V_{mpp} < V < 0 \end{cases}$$

De acuerdo a (Perpiñán Lamigueiro, 2013) con el segundo algoritmo no es necesario realizar ningún cambio hasta que se detecte un cambio de corriente, además en base a la ecuación de este algoritmo se puede decidir la dirección en la que se debe producir el movimiento para volver a localizar el MPP tras un cambio de radiación.

Teniendo en cuenta que la potencia del generador es el producto de la corriente y voltaje ( $P_{dc} = I \cdot V$ ) es posible escribir la siguiente ecuación.

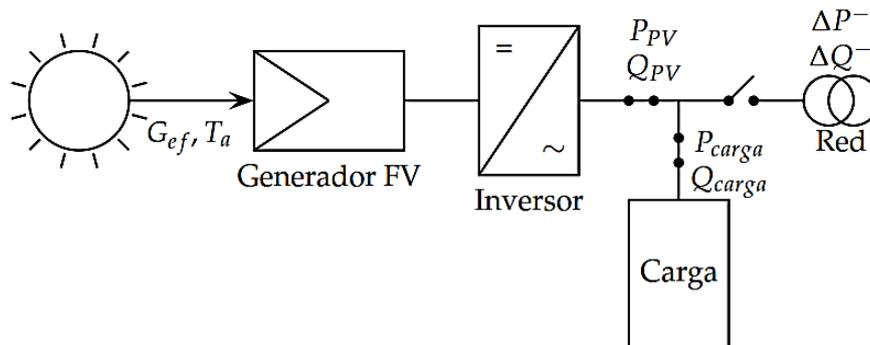
$$\text{Curva Corriente - Tensión: } \begin{cases} \frac{dI}{dV} > -\frac{I}{V} & 0 < V < V_{mpp} \\ \frac{dI}{dV} = -\frac{I}{V} & V = V_{mpp} \\ \frac{dI}{dV} < -\frac{I}{V} & V_{mpp} < V < 0 \end{cases}$$

El nombre del segundo método “conductancia incremental” proviene justamente de la relación  $I/V$  que es la conductancia de un elemento que es la base para la búsqueda del MPP.

Según normas aplicables a la mayoría de países con relación a que el generador fotovoltaico conectado a la red se quede trabajando en isla, indican que el inversor debe tener la capacidad de detectar este particular y debe desconectarse automáticamente de la red.

Esto puede suceder por una desconexión de algún interruptor de la empresa eléctrica tal como se puede observar en la siguiente figura.

Figura. 2.20. Sistema fotovoltaico desconectado de la red eléctrica



Fuente: (Perpiñán Lamigueiro, 2013)

De acuerdo a lo que menciona (Perpiñán Lamigueiro, 2013) la situación previa a la desconexión del interruptor puede representarse con las potencias activas y reactivas suministradas por el inversor fotovoltaico ( $P_{PV}$ ), las consumidas por la carga ( $P_{carga}$ ) y las suministradas por la red ( $\Delta P$ ). Teniendo en cuenta que la mayor parte de los inversores de conexión a red consiguen un factor de potencia cercano a 1 con un amplio rango de potencia de entrada, puede asumirse que la potencia reactiva fotovoltaica es nula. Así, antes de la desconexión se tiene:

$$\Delta P^- = P_{carga} - P_{PV} \quad (2.3)$$

$$\Delta Q^- = Q_{carga} - Q_{PV} \approx Q_{carga} \quad (2.4)$$

Modelando la carga como un circuito paralelo RC se tiene lo siguiente.

$$P_{Carga} = \frac{V^2}{R_{Carga}} \quad (2.5)$$

$$Q_{Carga} = \frac{V^2}{\omega L} - V^2 \omega C \quad (2.6)$$

De acuerdo a las anteriores ecuaciones se puede decir que:

$\Delta P^- > 0 \rightarrow P_{Carga} > P_{PV}$  Al producirse la desconexión, dado que  $P_{PV}$  no cambia, disminuye la potencia entregada a la carga, y por tanto baja el voltaje.

$\Delta P^- < 0 \rightarrow P_{Carga} < P_{PV}$  Al producirse la desconexión, aumenta la potencia entregada a la carga, y por tanto sube el voltaje.

$\Delta Q^- > 0 \rightarrow Q_{Carga} > 0$  La carga es predominantemente inductiva. Al producirse la desconexión, dado que el generador FV no entrega reactiva, la reactiva debe tender a 0, y por tanto aumenta la frecuencia.

$\Delta Q^- < 0 \rightarrow Q_{Carga} < 0$  La carga es predominantemente capacitiva. Al producirse la desconexión, la reactiva debe tender a cero, y por tanto disminuye la frecuencia.

Cualquiera de las cuatro situaciones pueden ser detectadas utilizando rangos aceptables de voltajes y frecuencias y este indicador puede dar una señal al equipo de desconexión del generador fotovoltaico para que se dispare y deje abierto el generador fotovoltaico de la red.

En el caso del inversor se debe tener en cuenta el voltaje máximo del inversor y la corriente máxima del mismo para evitar daños de este equipo, en el caso de los módulos fotovoltaicos cuando se conectan en serie se aumenta el voltaje y cuando se conectan en paralelo se incrementa el valor de corriente, teniendo en cuenta estos parámetros indica (Perpiñán Lamigueiro, 2013) la siguiente manera de calcular el número de módulos en serie y en paralelo que puede conectarse al inversor.

Módulos en serie:

$$V_{ocG} < V_{m\acute{a}x,inv} \quad (2.7)$$

$$V_{ocG} = N_s \times V_{ocM} \quad (2.8)$$

$$N_{sMAX} = \frac{V_{m\acute{a}x,inv}}{V_{ocM}} \quad (2.9)$$

Donde:

$V_{ocG}$  = Voltaje en vacío del generador con una irradiancia  $G= 200W/m^2$  y una temperatura ambiente  $T_a$  de  $-10^\circ C$ .

$N_s$  = número de módulos en serie

$V_{ocM}$  = Voltaje en vacío del módulo con una irradiancia  $G= 200W/m^2$  y una temperatura ambiente  $T_a$  de  $-10^\circ C$ .

$N_{sMAX}$  = Número máximo de módulos en serie

Para los módulos en paralelo:

$$I_{scG} < I_{m\acute{a}x,inv} \quad (2.10)$$

$$I_{scG} = N_p \times I_{scM} \quad (2.11)$$

$$N_{pMAX} = \frac{I_{m\acute{a}x,inv}}{I_{scM}} \quad (2.12)$$

Donde:

$I_{scG}$  = Corriente de cortocircuito del generador

$N_p$  = número de módulos en paralelo

$I_{scM}$  = Corriente de cortocircuito del módulo

$N_{pMAX}$  = Número máximo de módulos en paralelo

La potencia del generador se puede definir como:

$$P_G = N_s \times N_p \times P_m \quad (2.13)$$

Donde:

$P_G$  = Potencia del generador

$P_m$  = Potencia del módulo

De acuerdo al (Ente Regional de La Energía de Castilla León, 2004) se especifica el siguiente rendimiento que deben tener los inversores solares.

Cuadro 2.2. Rendimiento de los inversores

Tipo de Inversor		Rendimiento al 20% de la Potencia Nominal	Rendimiento a Potencia Nominal
Onda senoidal	$P_{nom} \leq 500 \text{ VA}$	> 80%	> 70%
	$P_{nom} > 500 \text{ VA}$	> 85%	> 80%
Onda no senoidal		> 85%	> 80%
Se considera que los inversores son de onda senoidal si la distorsión armónica total de la tensión de salida es inferior al 5% cuando el inversor alimenta cargas lineales, desde vacío a potencia nominal.			

Realizado por el Autor

Fuente: (Ente Regional de La Energía de Castilla León, 2004)

El CONELEC como ente regulador es el encargado de establecer las tarifas que se deben pagar por parte de los usuarios por kWh consumido, este particular se indica en la siguiente tabla.

Cuadro 2.3. Precio de kWh por rango de consumo

<b>Rango de Consumo</b>	<b>Energía (USD/kWh)</b>
0-50	0.081
51-100	0.083
101-150	0.085
151-200	0.087
201-250	0.089
251-300	0.091
301-350	0.093
351-500	0.095
501-700	0.1185
700-1000	0.135
1001-1500	0.1609
1501-2500	0.2652
2501-3500	0.4260
Superior	0.6712

Realizado por el Autor  
Fuente: (CONELEC, 2013)

#### **2.3.3.6. Protecciones.**

Para los sistemas solares fotovoltaicos se debe tener en cuenta protecciones en dos partes fundamentales, uno es en el lado de corriente directa y otro es en el de corriente alterna de acuerdo a lo mencionado por (Perpiñán Lamigueiro, 2013)

En corriente directa existen protecciones para cortocircuitos y sobrevoltajes, los cortocircuitos en este nivel no producen ningún daño en los paneles fotovoltaicos, sin embargo podrían repercutir en daños en el inversor, esta protección en particular se lo realiza mediante la utilización de los fusibles en cada polo, adicional a proteger los cortocircuitos estos fusibles permiten realizar el mantenimiento de los equipos ya que permiten la desconexión de los módulos fotovoltaicos.

Es importante cuidar los equipos electrónicos utilizados en la instalación fotovoltaica contra sobrevoltajes para esto se utilizan varistores los cuales brindan la protección necesaria en este particular.

De igual manera que en el caso anterior se tiene que proteger el lado de corriente alterna contra cortocircuitos y sobrecargas para este fin se utiliza un

interruptor magnetotérmico omnipolar, es importante recalcar que se debe contar con un interruptor general manual el cual tiene las mismas características que el anterior pero sus parámetros de calibración son distintos dado que el que debe actuar ante un cortocircuito o sobrecarga es el primero que se mencionó.

Una de las fallas más comunes en cualquier sistema eléctrico es la falla a tierra, para este particular se ubica un interruptor diferencial el mismo que se encarga de aperturar cuando la falla ocurre dentro de la zona de protección de este.

Finalmente se debe tener en cuenta que al momento de realizar la puesta a tierra del sistema fotovoltaico, esta no altera la puesta a tierra de la empresa eléctrica distribuidora.

Las protecciones forman parte fundamental en cualquier sistema eléctrico y son los encargados de velar por la seguridad de los equipos que se encuentran operando.

#### **2.4. Fundamentación legal**

El artículo 413 de la constitución del Ecuador dice:

**El Estado promoverá la eficiencia energética, el desarrollo y uso de prácticas y tecnologías ambientalmente limpias y sanas, así como de energías renovables, diversificadas, de bajo impacto y que no pongan en riesgo la soberanía alimentaria, el equilibrio ecológico de los ecosistemas ni el derecho al agua.**

El artículo 414 de la constitución del Ecuador dice:

**El Estado adoptará medidas adecuadas y transversales para la mitigación del cambio climático, mediante la limitación de las emisiones de gases de efecto invernadero, de la deforestación y de la contaminación atmosférica; tomará medidas para la conservación de los bosques y la vegetación, y protegerá a la población en riesgo.**

De lo citado en los artículos 413 y 414 de la constitución del Ecuador se puede decir que, este proyecto sería viable debido a que el mismo utiliza fuentes renovables para la producción de energía eléctrica, y permite la reducción de la energía consumida por un hogar unifamiliar hacia la empresa distribuidora. Además como se mencionó en el marco teórico, este tipo de sistemas aporta directamente a la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero.

En el país se viene impulsando lo que dicta la constitución con lo referente a los artículos citados, en la parte de energías se habla del cambio de la matriz energética, cambio que se basa en incrementar sistemas de generación eléctrica que utilicen como fuentes primarias energías renovables, dentro de estas fuentes se encuentra los sistemas fotovoltaicos.

En la actualidad el CONELEC, ente encargado de las regulaciones en el sector eléctrico no menciona en sus regulaciones, la posibilidad de que un usuario residencial pueda inyectar energía a la red eléctrica y tener un rédito económico por este concepto, pero, de acuerdo a la constitución del Ecuador en los artículos citados, se debe llegar a permitir el uso de las energías renovables en toda su capacidad, por tal motivo en un futuro el ente regulador debe incorporar dentro de sus regulaciones un lineamiento claro que permita optimizar el uso de este tipo de energía solar fotovoltaica.

## **2.5. Definición de términos básicos**

En esta sección se definen varios términos básicos que permitirán mejorar el entendimiento en el desarrollo de tesis.

- **RADIACIÓN SOLAR:** conjunto de radiaciones electromagnéticas emitidas por el Sol
- **IRRADIANCIA:** es la magnitud utilizada para describir la potencia incidente por unidad de superficie de todo tipo de radiación electromagnética.
- **IRRADIACIÓN:** También se conoce con el nombre de insolación y es la energía de radiación solar por unidad de área incidente en una superficie y

se la obtiene resolviendo la integral durante un período temporal de la irradiancia.

- ALBEDO: Es el porcentaje de radiación que cualquier superficie refleja respecto a la radiación que incide sobre la misma.
- RADIACIÓN DIFUSA: Es el efecto generado cuando la radiación solar que alcanza la superficie de la atmósfera de la Tierra se dispersa de su dirección original a causa de moléculas en la atmósfera
- RADIACIÓN DIRECTA: Es aquella radiación que ingresa a la atmósfera y no se encuentra en su camino obstáculo alguno.
- RADIACIÓN GLOBAL: Es la suma de todas las radiaciones que llegan a un punto, es decir se compone de la sumatoria de la radiación directa, difusa y albedo.
- CELDA SOLAR: También se la conoce como célula solar y se puede definir como un elemento que tiene la capacidad de transformar la energía lumínica en energía eléctrica mediante un principio foto-electro-químico.
- EFECTO FOTOVOLTAICO: Es la transformación parcial de la energía lumínica en energía eléctrica.
- MODULO FOTOVOLTAICO: También se lo conoce como panel solar y se constituye por un grupo de celdas solares conectadas en serie y paralelo.
- PROTECCIONES: Son las encargadas de cuidar de que los equipos no sufran daños debido a fallas externas o internas en el sistema que se protege.
- ENERGÍA ELÉCTRICA: Es la integral de la potencia en un determinado tiempo
- INVERSOR: Es el encargado de convertir la corriente directa en alterna, brindando las características necesarias para que se puedan conectar los sistemas de corriente directa a la red eléctrica de corriente alterna.
- MEDIDOR ELECTRICO: Es un equipo cuya finalidad es tomar datos de la energía sea esta entregada o consumida.
- SOBREVOLTAJES.- Son voltajes que sobrepasan los valores máximos permitidos.
- SOBRECORRIENTE: Son corrientes que sobrepasan los valores nominales de los elementos de un sistema

- **SOBRECARGA:** Es cuando a determinado sistema se le exige más energía de la que este puede suministrar o la que sus elementos pueden soportar.
- **GENERACIÓN DISTRIBUIDA:** También conocida como generación in-situ, generación embebida, generación descentralizada, generación dispersa o energía distribuida, consiste básicamente en la generación de energía eléctrica por medio de muchas pequeñas fuentes de energía. La definición más global de la generación distribuida vendría a decir que es aquella que se conecta a la red de distribución de energía eléctrica y que se caracteriza por encontrarse instalada en puntos cercanos al consumo

## **CAPÍTULO III**

### **3. METODOLOGÍA**

En el presente capítulo se indica la metodología que fue utilizada para el desarrollo de este tema de investigación, las variables que están involucradas, una descripción de los instrumentos utilizados para determinar los datos de radiación y de demanda en el sitio de estudio.

Además se indica que para la ejecución de este proyecto, se lo realizó con recursos propios y está orientado a evaluar la cantidad de radiación existente en el sitio para poder determinar la potencia que se puede obtener de un sistema solar fotovoltaico.

#### **3.1.1. Modalidad de la investigación**

El presente trabajo, al constituirse dentro de un proyecto factible, se enmarca dentro del paradigma cuanti - cualitativo ya que, se recogieron y analizaron datos cuantitativos y calificativos sobre la variable de estudio como es la radiación solar y demanda energética de un hogar.

La presente investigación tuvo como finalidad determinar la cantidad de radiación solar existente en la ciudadela los molinos y por medio de la misma evaluar la cantidad de energía que se puede obtener de un sistema fotovoltaico que constituirá la energía limpia que desplazaría a la convencional que se toma de la empresa eléctrica.

##### **3.1.1.1. Tipo de investigación**

Los tipos de investigación que se utilizaron fueron de carácter documental y de campo, la investigación documental se sustenta básicamente en textos y normativas relacionadas con el tema de investigación y que se encuentra evidenciado en el capítulo I, la referencia bibliográfica de todas estas fuentes se detallan en la sección que corresponde.

La investigación de campo se enfoca a la toma de datos de radiación mediante la utilización de un piranómetro, además se realiza la determinación de la demanda del hogar en estudio por medio de un analizador de redes el cual permite observar el comportamiento de la carga en un determinado tiempo.

### **3.1.1.2. Metodología**

La presente investigación fue de forma no experimental, ya que se analizó una causa real, radiación solar incidente en el sitio de estudio y determinación de la demanda de un hogar unifamiliar para determinar la energía solar fotovoltaica que se puede obtener para que se autoconsume en dicho hogar.

### **3.1.1.3. Unidad de estudio**

Para la determinación y aplicabilidad de la investigación en el sector seleccionado se realizó un estudio de la radiación solar incidente en el sitio de estudio el cual permitirá determinar el potencial solar con el que se cuenta en dicho lugar y de esta manera analizar la cantidad de energía que se puede obtener por medio de un panel solar fotovoltaico.

La utilización de un analizador de red en el sitio de estudio permitió evidenciar el comportamiento de la carga durante 7 días, los datos que se toman para este análisis son los de las horas de la mañana dado que en estas horas se puede generar energía con el sistema fotovoltaico.

## **3.2. Métodos y técnicas a ser empleadas**

Para la investigación propuesta se realizó una recopilación bibliográfica de las temáticas actuales relacionadas al tema lo cual permitió identificar los parámetros fundamentales que implican realizar esta temática, los datos necesarios fueron obtenidos de los equipos de medición, además se utilizó técnicas estadísticas para el tratamiento de los datos tanto de radiación como los del comportamiento de la demanda de la energía en el hogar unifamiliar.

### 3.3. Matriz De Operacionalización De Variables

Cuadro 3.1. Operacionalización de variables

<b>Variable Independiente: Generación fotovoltaica</b>				
<b>Conceptualización</b>	<b>Dimensiones</b>	<b>Indicadores</b>	<b>Nº Ítems</b>	<b>Técnicas e Instrumentos</b>
Energía producida por el efecto fotovoltaico que consiste en transformar la energía lumínica en eléctrica	Irradiancia	W/m <sup>2</sup>	Medición	Piranómetro
	Irradiación	Wh/m <sup>2</sup>	Curva de tendencia	Excel
	Panel solar fotovoltaico	Curva de comportamiento V-I	Curva de tendencia	Excel
<b>Variable Dependiente: Reducción de la demanda de energía de un hogar unifamiliar hacia la empresa distribuidora</b>				
<b>Conceptualización</b>	<b>Dimensiones</b>	<b>Indicadores</b>	<b>Nº Ítems</b>	<b>Técnicas e Instrumentos</b>
Consumo eléctrico en un intervalo de tiempo proveniente de los equipos para su correcto funcionamiento	Potencias máximas	VA	Medición	Analizador de calidad
	Energía	Wh	Medición	Determinación de energía

Realizado por el Autor

### 3.4. Instrumentos de recolección de datos

#### 3.4.1. Piranómetro

El equipo utilizado para el levantamiento de información relacionado es el piranómetro de marca Apogee MP200 Solar Meter el cual por medio de un piranómetro el cual almacena datos cada 30 min cada dato almacenado se basa en un promedio de muestras que el equipos toma cada 30 segundos, este equipo tiene la capacidad de almacenar un total de 99 datos, este equipo brinda la facilidad de transferir los datos a la PC y de esta manera proceder a realizar el estudio.

En la figura siguiente se indica el equipo utilizado en el cual se muestra una medición.

Figura. 3.1. Piranómetro Apogee MP200



Fuente: Realizado por el autor

### 3.4.2. Analizador de redes

El analizador de redes utilizado para el análisis del comportamiento de la carga es el Fluke 1735, mismo que permitió obtener los datos de las potencias de consumo y energía de consumo en el hogar en el que se realizó el análisis.

Figura. 3.2. Analizador de red Fluke 1735



Fuente: Realizado por el autor

### **3.5. Procedimiento de la Investigación**

Se procedió a realizar la conexión del analizador de redes a la entrada del medidor del hogar unifamiliar en donde se programó dicho analizador para que almacene información cada cinco minutos durante siete días consecutivos, principalmente de los datos de potencia y energía que se utilizó para el desarrollo de este proyecto, de igual manera se trabajó en la toma de datos de la radiación incidente en el sitio de estudio para una determinación real de la irradiancia, parámetro fundamental para el funcionamiento de los paneles fotovoltaicos la toma de datos se lo hizo del promedio de las mediciones tomadas cada 30 segundos en un tiempo de 30 minutos con la ayuda del equipo que tiene esta característica.

### **3.6. Procesamiento y análisis**

De los datos que fueron obtenidos de radiación solar por medio del piranómetro, se procedió a tabular los mismos y a determinar la frecuencia de cada uno de ellos de esta manera se obtuvo una tendencia real de la radiación con la que se cuenta en el sitio de estudio. Luego con los datos de las curvas de V-I de los paneles solares fotovoltaicos se puede determinar la potencia máxima que entregaría el módulo solar fotovoltaico.

Con los datos de la demanda del hogar unifamiliar se logra determinar la potencia pico del panel solar sin sobrepasar la energía demandada por el hogar para evitar inyectar potencias a la red de la empresa eléctrica dado que al no existir una normativa relacionada a generación distribuida esta energía inyectada no representaría ningún valor económico para el dueño de la instalación y esto significaría que el panel está sobredimensionado y esto eleva costos de inversión.

## CAPÍTULO IV

### 4. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

En este capítulo se analiza los resultados obtenidos tanto del analizador de redes como del piranómetro para poder determinar la potencia que puede entregar a la red un módulo fotovoltaico y conocer el porcentaje en el que se disminuiría la energía consumida en horas en el que el módulo se encuentra en operación.

#### 4.1. Análisis de los datos de la Radiación Incidente en el sitio de estudio en el mes de Noviembre

##### 4.1.1. Irradiancia Incidente de las 7:00 a 7:30

Cuadro 4.1. Frecuencias de radiación solar (7:00 – 7:30)

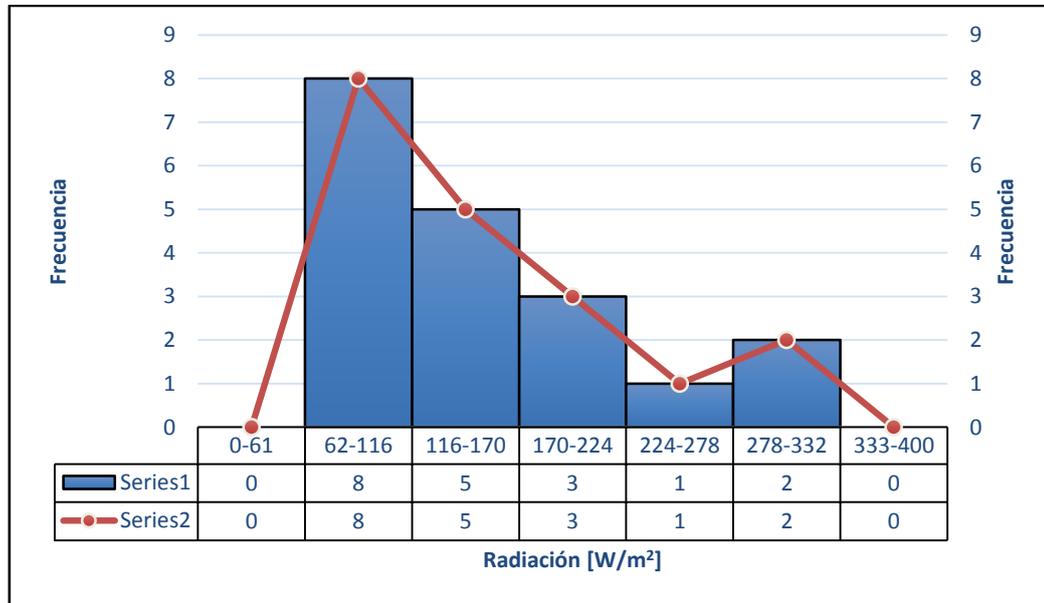
N° De Datos	19						
Valor máximo	330						
Valor mínimo	62						
Rango	268						
N° De Intervalos	5						
Amplitud de clase	54						
Clase	Límite Inferior [W/m <sup>2</sup> ]	Límite Superior [W/m <sup>2</sup> ]	Marca de clase [W/m <sup>2</sup> ]	Frecuencia Absoluta	Frecuencia Absoluta Acumulada	Frecuencia Relativa	Frecuencia Porcentual
1	62	116	89	8	8	0,42	42%
2	116	170	143	5	13	0,26	26%
3	170	224	197	3	16	0,16	16%
4	224	278	251	1	17	0,05	5%
5	278	332	305	2	19	0,11	11%

Fuente: Realizado por el autor

De la tabla se puede observar que la mayor cantidad de valores se encuentran en la clase 1 con un 42 por ciento, sin embargo, esta radiación solar de 89 w/m<sup>2</sup> no permite que trabaje adecuadamente el sistema fotovoltaico y puede ocasionar mala operación del inversor por tener voltajes muy bajos de salida de estos módulos.

En la figura que se muestra a continuación se puede observar claramente el comportamiento de los datos de radiación

Figura. 4.1. Histograma y Polígono de Frecuencia de Irradiancia (7:00 – 7:30)



Fuente: Realizado por el autor

#### 4.1.2. Irradiancia Incidente de las 7:30 a 8:00

Cuadro 4.2. Frecuencias de irradiancia solar (7:30 – 8:00)

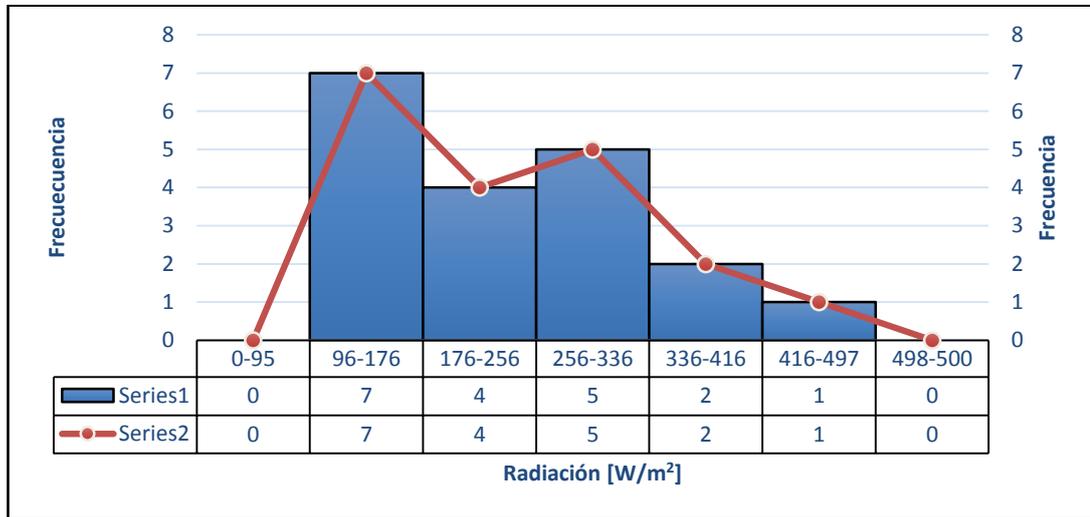
N° De Datos	19						
Valor máximo	497						
Valor mínimo	96						
Rango	401						
N° De Intervalos	5						
Amplitud de clase	80						
Clase	Límite Inferior [W/m <sup>2</sup> ]	Límite Superior [W/m <sup>2</sup> ]	Marca de clase [W/m <sup>2</sup> ]	Frecuencia Absoluta	Frecuencia Absoluta Acumulada	Frecuencia Relativa	Frecuencia Porcentual
1	96	176	136	7	7	0,37	37%
2	176	256	216	4	11	0,21	21%
3	256	336	296	5	16	0,26	26%
4	336	416	376	2	18	0,11	11%
5	416	497	457	1	19	0,05	5%

Fuente: Realizado por el autor

Para este caso al igual que el anterior la mayor frecuencia se la obtiene en la clase 1, sin embargo es interesante notar que en este caso la irradiancia

incidente es superior al caso anterior pero sin embargo de acuerdo a las curvas que se tiene en el anexo 1 se tiene las curvas que empiezan con una radiación de 200  $w/m^2$ .

Figura. 4.2. Histograma y Polígono de Frecuencia de Irradiancia (7:30 – 8:00)



Fuente: Realizado por el autor

#### 4.1.3. Irradiancia Incidente de las 8:00 a 8:30

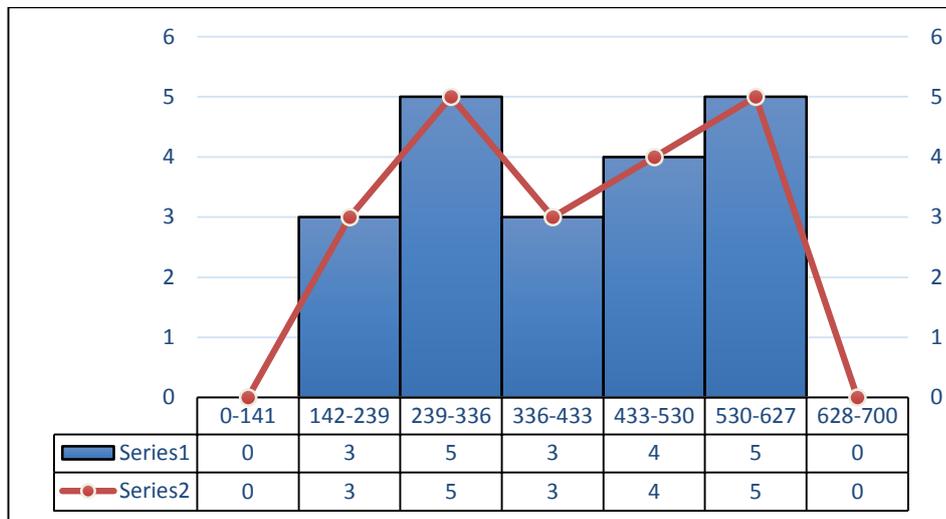
Cuadro 4.3. Frecuencias de irradiancia solar (8:00 – 8:30)

N° De Datos	20						
Valor máximo	625						
Valor mínimo	142						
Rango	483						
N° De Intervalos	5						
Amplitud de clase	97						
Clase	Límite Inferior [W/m <sup>2</sup> ]	Límite Superior [W/m <sup>2</sup> ]	Marca de clase [W/m <sup>2</sup> ]	Frecuencia Absoluta	Frecuencia Absoluta Acumulada	Frecuencia Relativa	Frecuencia Porcentual
1	142	239	191	3	3	0,15	15%
2	239	336	288	5	8	0,25	25%
3	336	433	385	3	11	0,15	15%
4	433	530	482	4	15	0,20	20%
5	530	627	579	5	20	0,25	25%

Fuente: Realizado por el autor

En este caso se puede observar que para dos clases se tiene la misma frecuencia, para el análisis se tomara el caso más favorable que le corresponde al de la clase cinco dado la tendencia actual de los países de integrar energías amigables en el ambiente en su matriz energética.

Figura. 4.3. Histograma y Polígono de Frecuencia de Irradiancia (8:00 – 8:30)



Fuente: Realizado por el autor

#### 4.1.4. Irradiancia Incidente de las 8:30 a 9:00

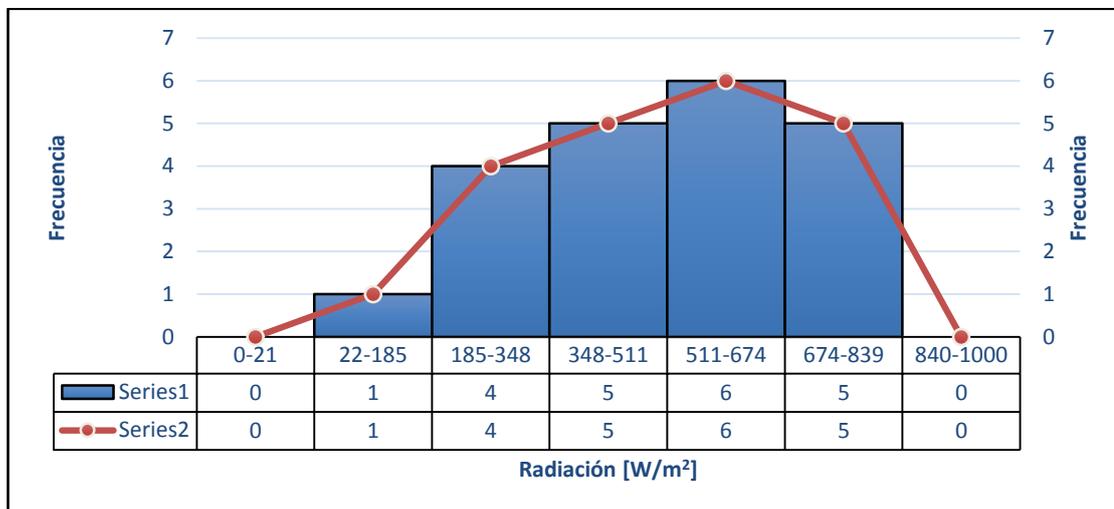
Cuadro 4.4. Frecuencias de irradiancia solar (8:30 – 9:00)

N° De Datos	21						
Valor máximo	839						
Valor mínimo	22						
Rango	817						
N° De Intervalos	5						
Amplitud de clase	163						
Clase	Límite Inferior [W/m <sup>2</sup> ]	Límite Superior [W/m <sup>2</sup> ]	Marca de clase [W/m <sup>2</sup> ]	Frecuencia Absoluta	Frecuencia Absoluta Acumulada	Frecuencia Relativa	Frecuencia Porcentual
1	22	185	104	1	1	0,05	5%
2	185	348	267	4	5	0,19	19%
3	348	511	430	5	10	0,24	24%
4	511	674	593	6	16	0,29	29%
5	674	839	757	5	21	0,24	24%

Fuente: Realizado por el autor

Para este intervalo de tiempo se puede notar que los datos de irradiancia se hallan en la clase cuatro misma que tiene el valor de 593 w/m<sup>2</sup> como valor promedio en esta clase.

Figura. 4.4. Histograma y Polígono de Frecuencia de Irradiancia (8:30 – 9:00)



Fuente: Realizado por el autor

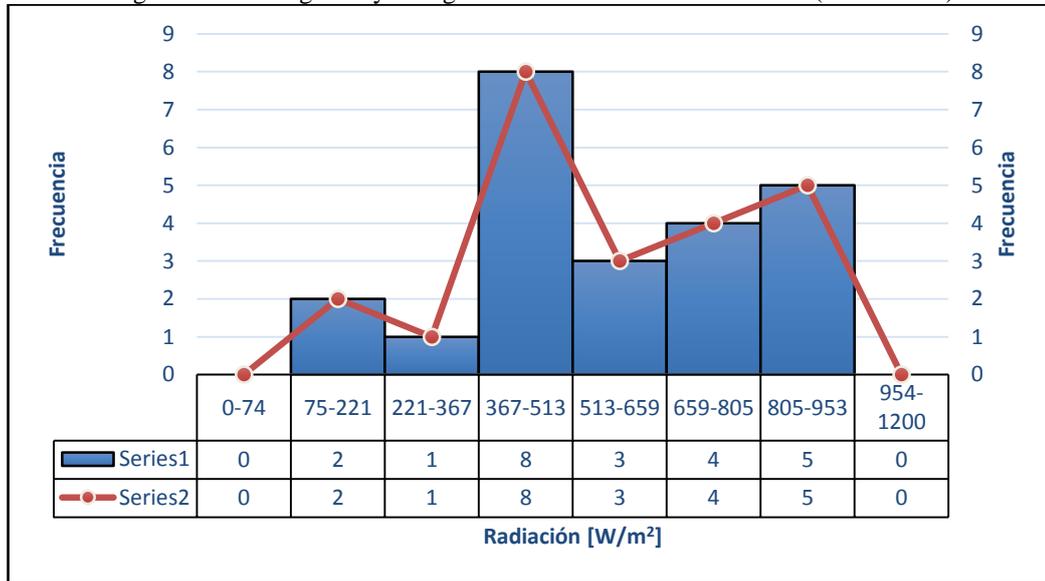
#### 4.1.5. Irradiancia Incidente de las 9:00 a 9:30

Cuadro 4.5. Frecuencias de irradiancia solar (9:00 – 9:30)

N° De Datos	23						
Valor máximo	953						
Valor mínimo	75						
Rango	878						
N° De Intervalos	6						
Amplitud de clase	146						
Clase	Límite Inferior [W/m <sup>2</sup> ]	Límite Superior [W/m <sup>2</sup> ]	Marca de clase [W/m <sup>2</sup> ]	Frecuencia Absoluta	Frecuencia Absoluta Acumulada	Frecuencia Relativa	Frecuencia Porcentual
1	75	221	148	2	2	0,09	9%
2	221	367	294	1	3	0,04	4%
3	367	513	440	8	11	0,35	35%
4	513	659	586	3	14	0,13	13%
5	659	805	732	4	18	0,17	17%
6	805	953	879	5	23	0,22	22%

Fuente: Realizado por el autor

Figura. 4.5. Histograma y Polígono de Frecuencia de Irradiancia (9:00 – 9:30)



Fuente: Realizado por el autor

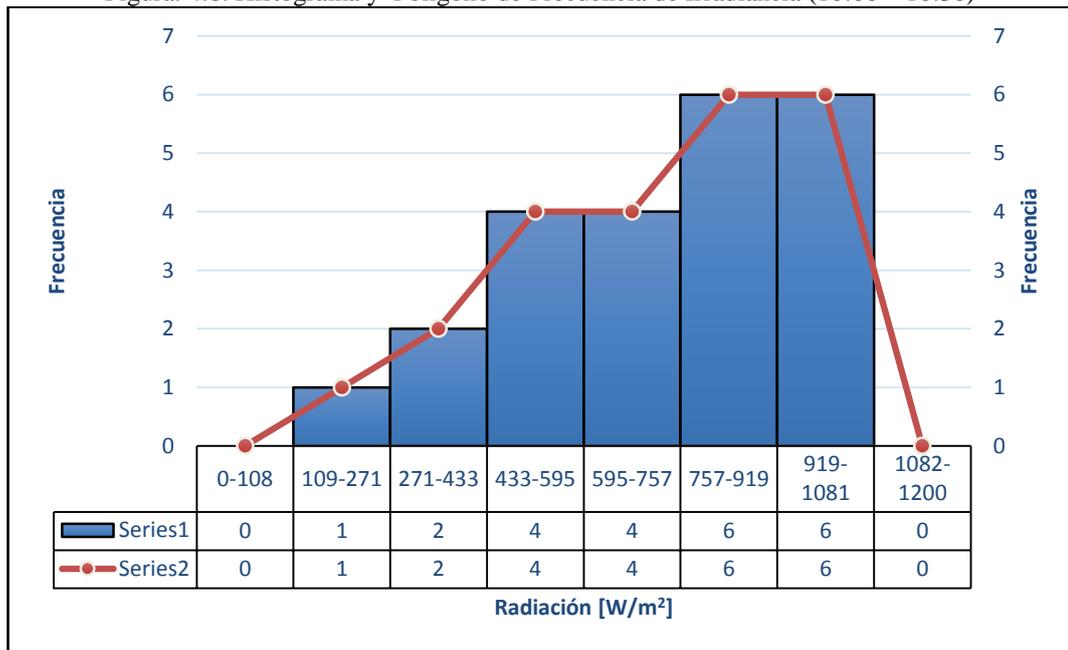
#### 4.1.6. Irradiancia Incidente de las 10:00 a 10:30

Cuadro 4.6. Frecuencias de irradiancia solar (10:00 – 10:30)

N° De Datos	23						
Valor máximo	1080						
Valor mínimo	109						
Rango	971						
N° De Intervalos	6						
Amplitud de clase	162						
Clase	Límite Inferior [W/m <sup>2</sup> ]	Límite Superior [W/m <sup>2</sup> ]	Marca de clase [W/m <sup>2</sup> ]	Frecuencia Absoluta	Frecuencia Absoluta Acumulada	Frecuencia Relativa	Frecuencia Porcentual
1	109	271	190	1	1	0,04	4%
2	271	433	352	2	3	0,09	9%
3	433	595	514	4	7	0,17	17%
4	595	757	676	4	11	0,17	17%
5	757	919	838	6	17	0,26	26%
6	919	1081	1000	6	23	0,26	26%

Fuente: Realizado por el autor

Figura. 4.6. Histograma y Polígono de Frecuencia de Irradiancia (10:00 – 10:30)



Fuente: Realizado por el autor

De igual manera se toma el caso más favorable para el dimensionamiento, además se puede notar que en este caso particular la radiación es la misma que se utiliza para las pruebas de los módulos fotovoltaicos en el laboratorio.

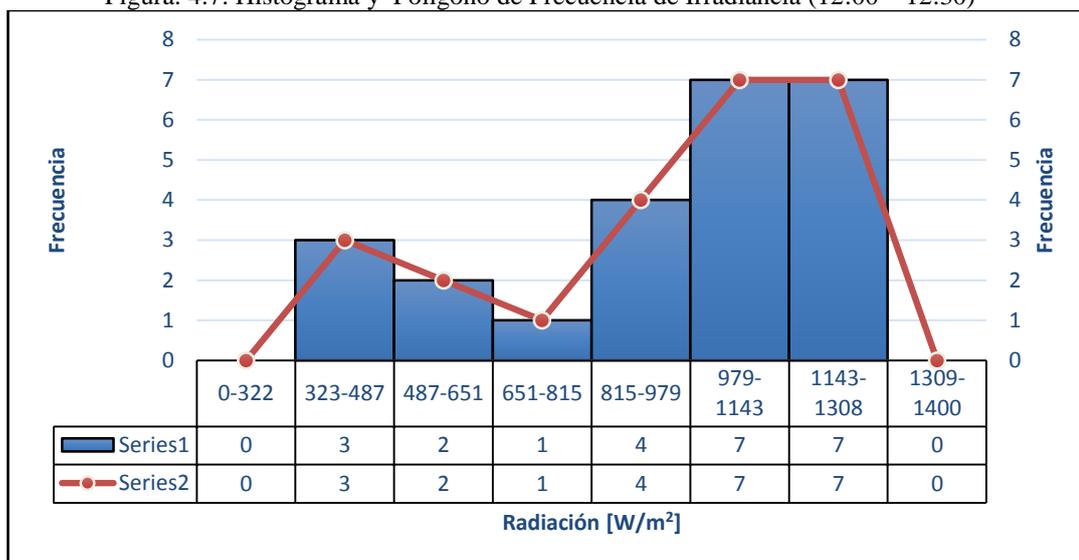
#### 4.1.7. Irradiancia Incidente de las 12:00 a 12:30

Cuadro 4.7. Frecuencias de irradiancia solar (12:00 – 12:30)

N° De Datos	24						
Valor máximo	1308						
Valor mínimo	323						
Rango	985						
N° De Intervalos	6						
Amplitud de clase	164						
Clase	Límite Inferior [W/m <sup>2</sup> ]	Límite Superior [W/m <sup>2</sup> ]	Marca de clase [W/m <sup>2</sup> ]	Frecuencia Absoluta	Frecuencia Absoluta Acumulada	Frecuencia Relativa	Frecuencia Porcentual
1	323	487	405	3	3	0,13	13%
2	487	651	569	2	5	0,08	8%
3	651	815	733	1	6	0,04	4%
4	815	979	897	4	10	0,17	17%
5	979	1143	1061	7	17	0,29	29%
6	1143	1308	1226	7	24	0,29	29%

Fuente: Realizado por el autor

Figura. 4.7. Histograma y Polígono de Frecuencia de Irradiancia (12:00 – 12:30)



Fuente: Realizado por el autor

En este caso de los análisis realizados se tiene que en esta hora se produce la mayor irradiancia, cabe mencionar que la irradiancia se mantiene sobre los 1000 w/m<sup>2</sup> desde las 10:00 hasta las 13:30, luego de esta hora la radiación comienza a disminuir

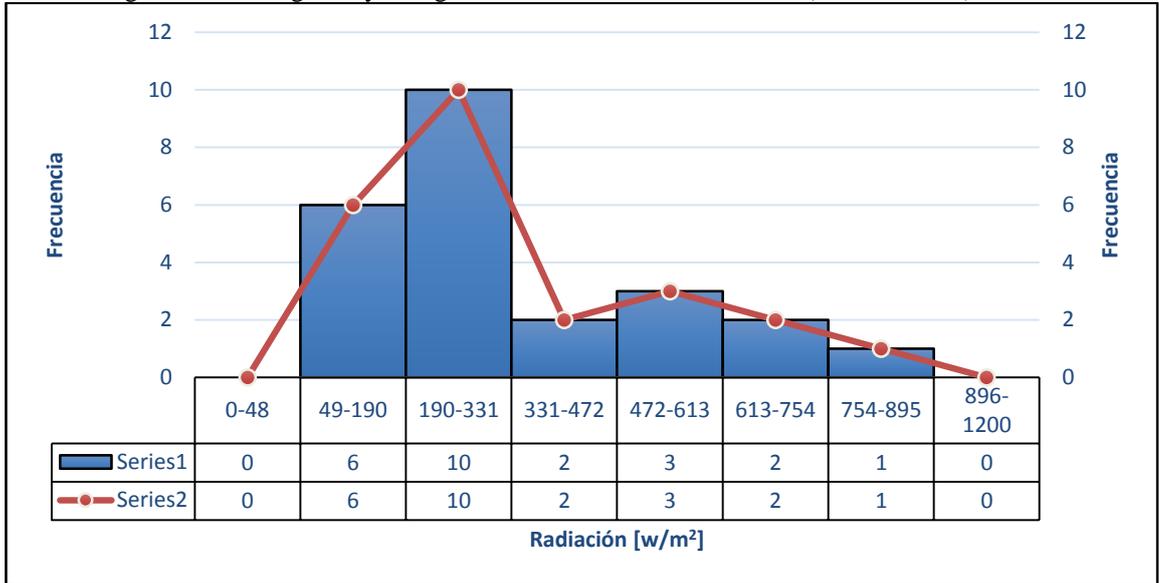
#### 4.1.8. Irradiancia Incidente de las 15:30 a 16:00

Cuadro 4.8. Frecuencias de irradiancia solar (15:30 – 16:00)

N° De Datos	24						
Valor máximo	892						
Valor mínimo	49						
Rango	843						
N° De Intervalos	6						
Amplitud de clase	141						
Clase	Límite Inferior [W/m <sup>2</sup> ]	Límite Superior [W/m <sup>2</sup> ]	Marca de clase [W/m <sup>2</sup> ]	Frecuencia Absoluta	Frecuencia Absoluta Acumulada	Frecuencia Relativa	Frecuencia Porcentual
1	49	190	120	6	6	0,25	25%
2	190	331	261	10	16	0,42	42%
3	331	472	402	2	18	0,08	8%
4	472	613	543	3	21	0,13	13%
5	613	754	684	2	23	0,08	8%
6	754	895	825	1	24	0,04	4%

Fuente: Realizado por el autor

Figura. 4.8. Histograma y Polígono de Frecuencia de Irradiancia (12:00 – 12:30)



Fuente: Realizado por el autor

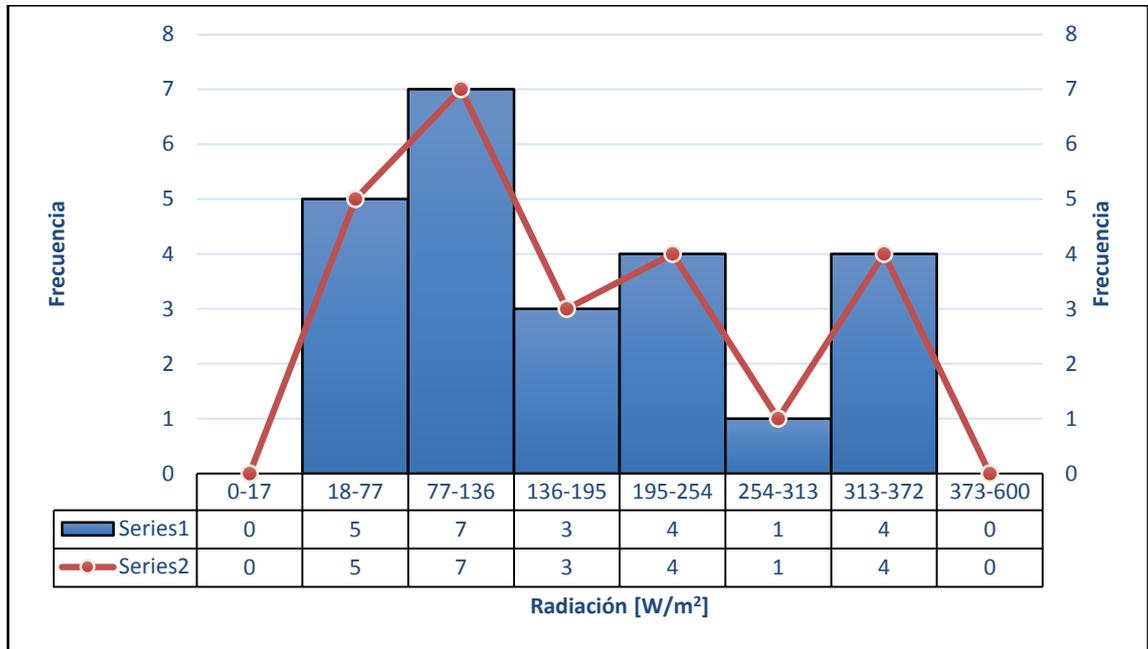
#### 4.1.9. Irradiancia Incidente de las 16:30 a 17:00

Cuadro 4.9. Frecuencias de irradiancia solar (16:30 – 17:00)

Nº De Datos	24						
Valor máximo	370						
Valor mínimo	18						
Rango	352						
Nº De Intervalos	6						
Amplitud de clase	59						
Clase	Límite Inferior [W/m <sup>2</sup> ]	Límite Superior [W/m <sup>2</sup> ]	Marca de clase [W/m <sup>2</sup> ]	Frecuencia Absoluta	Frecuencia Absoluta Acumulada	Frecuencia Relativa	Frecuencia Porcentual
1	18	77	48	5	5	0,21	21%
2	77	136	107	7	12	0,29	29%
3	136	195	166	3	15	0,13	13%
4	195	254	225	4	19	0,17	17%
5	254	313	284	1	20	0,04	4%
6	313	372	343	4	24	0,17	17%

Fuente: Realizado por el autor

Figura. 4.9. Histograma y Polígono de Frecuencia de Irradiancia (16:30 – 17:00)



Fuente: Realizado por el autor

En este caso la radiación comienza a decaer por lo que esta hora no se la tomaría en cuenta, en resumen se consideró en este trabajo que las horas efectivas para trabajo del sistema solar fotovoltaico son a partir de las 8:00 de la mañana has las 16:30 horas en la tarde.

#### 4.1.10. Irradiación de un día típico del mes de noviembre

En este caso como se mencionó en la teoría este parámetro viene a constituirse la cantidad de energía que se produce en un día, se la calcula por medio de la integral de la ecuación de la curva de tendencia.

En la siguiente tabla se indica la irradiancia en el tiempo que se estableció para el funcionamiento del sistema fotovoltaico.

En la tabla se indica claramente el comportamiento de la irradiancia a medida que transcurre el tiempo, en el gráfico siguiente se indica el gráfico de estos valores en función del tiempo.

Cuadro 4.10. Irradiancia característica en el mes de noviembre y su frecuencia

<b>Hora</b>	<b>Radiación [W/m<sup>2</sup>]</b>	<b>Frecuencia</b>
8:00-8:30	578,50	25%
8:30-9:00	674,00	29%
9:00-9:30	440,00	35%
9:30-10:00	781,50	30%
10:00-10:30	1000,00	26%
10:30-11:00	1107,50	35%
11:00-11:30	1110,00	50%
11:30-12:00	1196,00	38%
12:00-12:30	1225,50	29%
12:30-13:00	1207,50	29%
13:00-13:30	1111,50	29%
13:30-14:00	1060,50	29%
14:00-14:30	406,00	33%
14:30-15:00	241,00	29%
15:00-15:30	297,50	33%
15:30-16:00	260,50	42%
16:00-16:30	197,00	42%

Fuente: Realizado por el autor

Cabe mencionar que en el país existe un atlas solar el cual muestra aproximadamente el valor de irradiación que se tiene en cada provincia.

Cuadro 4.11. Irradiancia característica en el mes de noviembre y su frecuencia

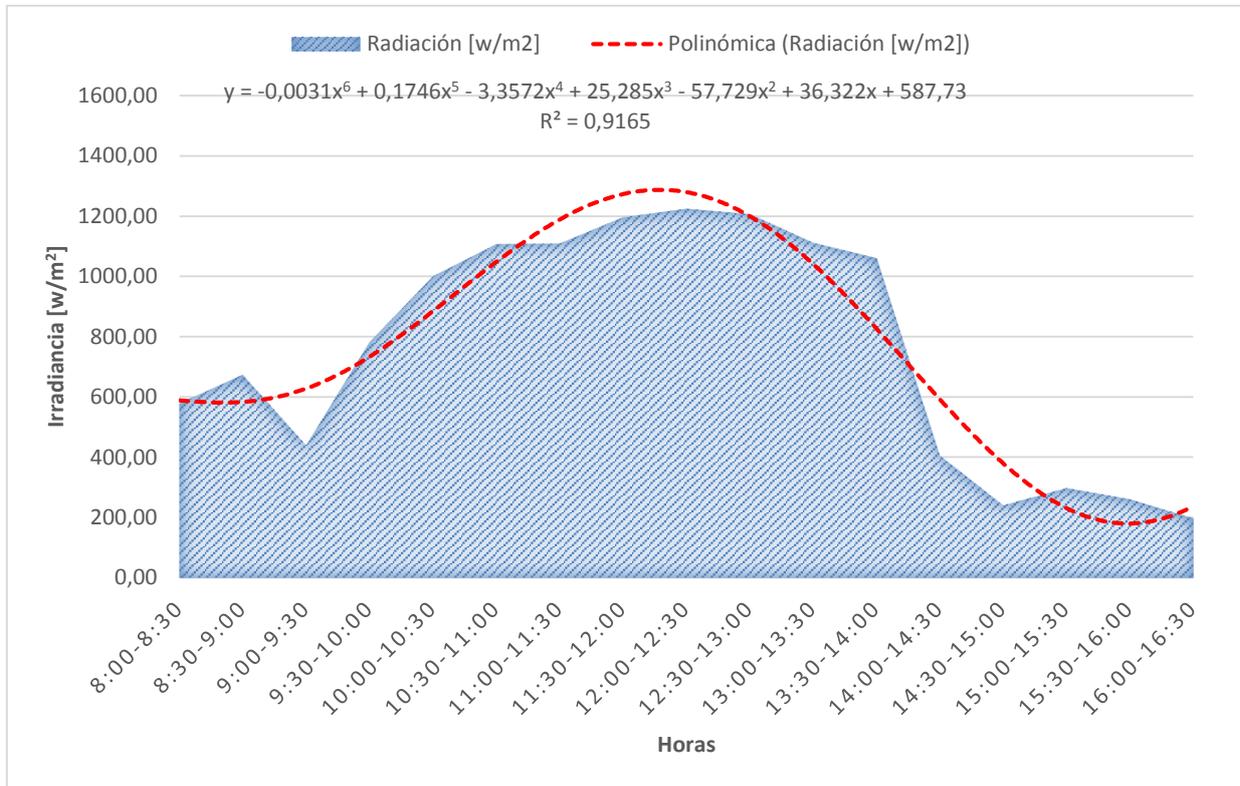
<b>Mes</b>	<b>Irradiación (Wh/m<sup>2</sup>/día)</b>
Enero	4800
Febrero	5100
Marzo	4950
Abril	4800
Mayo	4800
Junio	5100
Julio	5250
Agosto	5550
Septiembre	5550
Octubre	5400
Noviembre	5100
Diciembre	5250

Realizado por el autor  
Fuente: (CONELEC, 2008)

En la tabla 4.11 se muestra claramente una distribución existente de la irradiación solar en la provincia de Cotopaxi en los diferentes meses del año, el promedio de estos valores es 5138 Wh/m<sup>2</sup>/día.

Se puede decir que si se toman valores de irradiancia del mes de noviembre se está tomando un valor por debajo del promedio.

Figura. 4.10. Irradiancia Vs Tiempo



Fuente: Realizado por el autor

En la figura 4.10 se muestra el tiempo y la cantidad de irradiación  $[\text{W/m}^2]$ , de esta curva característica se obtiene la curva de tendencia y se evalúa la integral de la misma para obtener la insolación de este mes.

El tiempo en el que se evalúa este particular es de 8:00 a 16:30 y se logra determinar que el valor de irradiación para este periodo de tiempo es de 8734  $[\text{Wh/m}^2]$ .

#### 4.2. Análisis del comportamiento de la carga en el hogar unifamiliar

De acuerdo a los datos obtenidos del analizador de red se puede tabular la información de las potencias que se tiene al igual que la energía, para esto se realizó un análisis por cada media hora.

### 4.2.1. Tabulación de las potencias

Al igual que en el caso anterior se realizó el mismo procedimiento y se tabulo de acuerdo a la frecuencia, a continuación se muestra los resultados tabulados para el tiempo de estudio establecido.

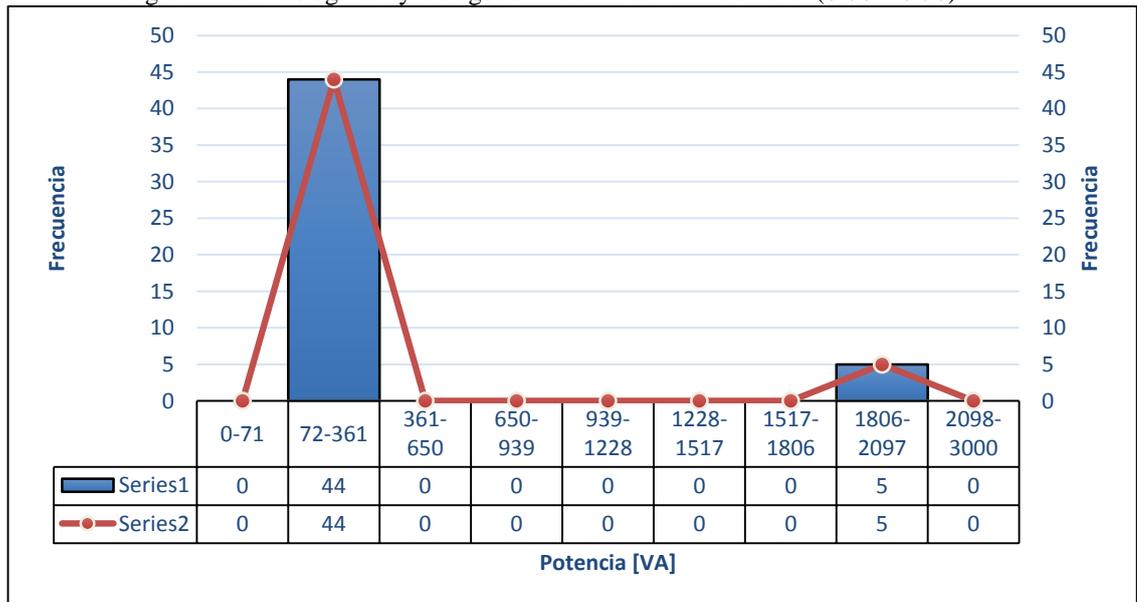
#### 4.2.1.1. Potencias en las horas de 8:00 a 8:30

Cuadro 4.12. Potencias en el periodo de análisis de (8:00 – 8:30)

N° De Datos	49						
Valor máximo	2097						
Valor mínimo	72						
Rango	2025						
N° De Intervalos	7						
Amplitud de clase	289						
Clase	Límite Inferior [VA]	Límite Superior [VA]	Marca de clase [VA]	Frecuencia Absoluta	Frecuencia Absoluta Acumulada	Frecuencia Relativa	Frecuencia Porcentual
1	72	361	216,5	44	44	0,90	90%
2	361	650	505,5	0	44	0,00	0%
3	650	939	794,5	0	44	0,00	0%
4	939	1228	1083,5	0	44	0,00	0%
5	1228	1517	1372,5	0	44	0,00	0%
6	1517	1806	1661,5	0	44	0,00	0%
7	1806	2097	1951,5	5	49	0,10	10%

Fuente: Realizado por el autor

Figura. 4.11. Histograma y Polígono de Frecuencia de Potencia (8:00 – 8:30)



Fuente: Realizado por el autor

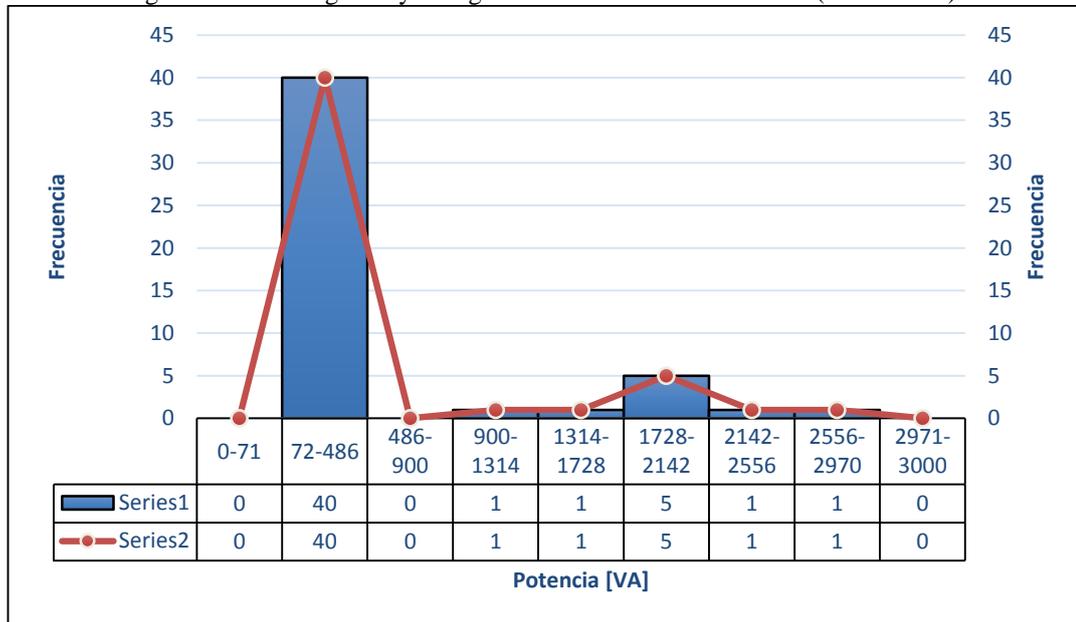
#### 4.2.1.2. Potencias en las horas de 8:30 a 9:00

Cuadro 4.13. Potencias en el periodo de análisis de (8:30 – 9:00)

N° De Datos	49						
Valor máximo	2967						
Valor mínimo	72						
Rango	2895						
N° De Intervalos	7						
Amplitud de clase	414						
Clase	Límite Inferior [VA]	Límite Superior [VA]	Marca de clase [VA]	Frecuencia Absoluta	Frecuencia Absoluta Acumulada	Frecuencia Relativa	Frecuencia Porcentual
1	72	486	279	40	40	0,82	82%
2	486	900	693	0	40	0,00	0%
3	900	1314	1107	1	41	0,02	2%
4	1314	1728	1521	1	42	0,02	2%
5	1728	2142	1935	5	47	0,10	10%
6	2142	2556	2349	1	48	0,02	2%
7	2556	2970	2763	1	49	0,02	2%

Fuente: Realizado por el autor

Figura. 4.12. Histograma y Polígono de Frecuencia de Potencia (8:30 – 9:00)



Fuente: Realizado por el autor

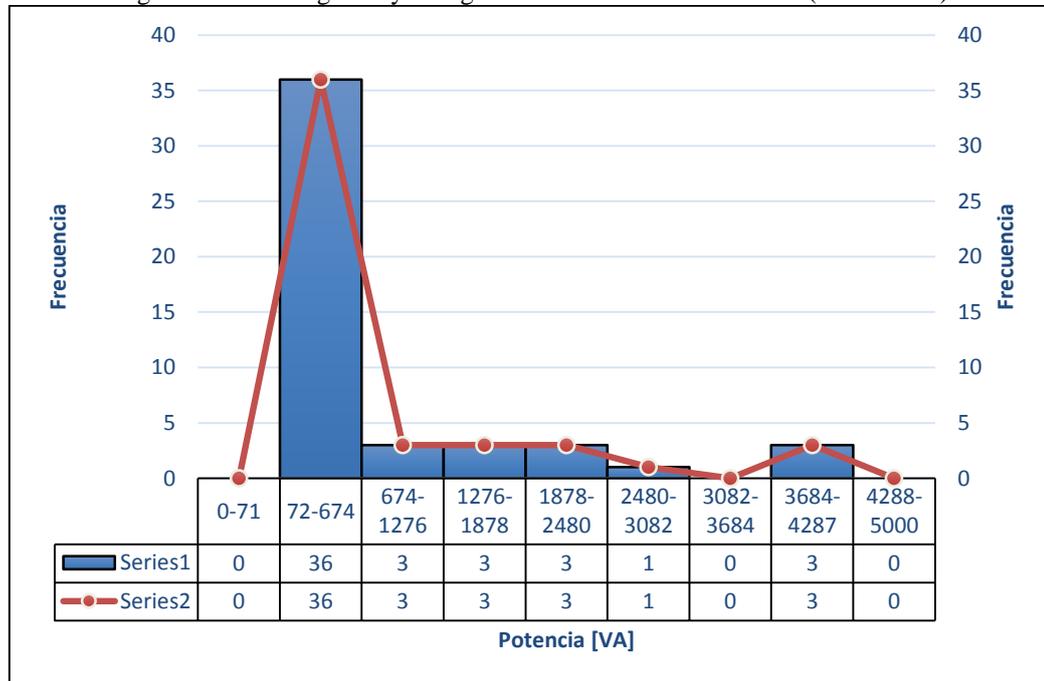
### 4.2.1.3. Potencias en las horas de 9:00 a 9:30

Cuadro 4.14. Potencias en el periodo de análisis de (9:00 – 9:30)

N° De Datos	49						
Valor máximo	4287						
Valor mínimo	72						
Rango	4215						
N° De Intervalos	7						
Amplitud de clase	602						
Clase	Límite Inferior [VA]	Límite Superior [VA]	Marca de clase [VA]	Frecuencia Absoluta	Frecuencia Absoluta Acumulada	Frecuencia Relativa	Frecuencia Porcentual
1	72	674	373	36	36	0,73	73%
2	674	1276	975	3	39	0,06	6%
3	1276	1878	1577	3	42	0,06	6%
4	1878	2480	2179	3	45	0,06	6%
5	2480	3082	2781	1	46	0,02	2%
6	3082	3684	3383	0	46	0,00	0%
7	3684	4287	3985,5	3	49	0,06	6%

Fuente: Realizado por el autor

Figura. 4.13. Histograma y Polígono de Frecuencia de Potencia (9:00 – 9:30)



Fuente: Realizado por el autor

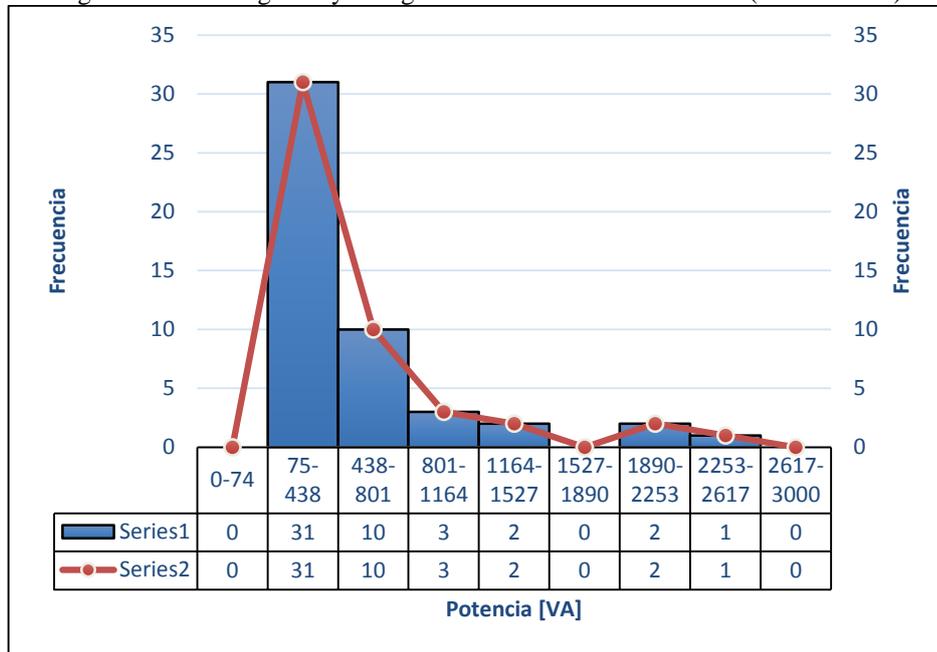
#### 4.2.1.4. Potencias en las horas de 9:30 a 10:00

Cuadro 4.15. Potencias en el periodo de análisis de (9:30 – 10:00)

N° De Datos	49						
Valor máximo	2616						
Valor mínimo	75						
Rango	2541						
N° De Intervalos	7						
Amplitud de clase	363						
Clase	Límite Inferior [VA]	Límite Superior [VA]	Marca de clase [VA]	Frecuencia Absoluta	Frecuencia Absoluta Acumulada	Frecuencia Relativa	Frecuencia Porcentual
1	75	438	256,5	31	31	0,63	63%
2	438	801	619,5	10	41	0,20	20%
3	801	1164	982,5	3	44	0,06	6%
4	1164	1527	1345,5	2	46	0,04	4%
5	1527	1890	1708,5	0	46	0,00	0%
6	1890	2253	2071,5	2	48	0,04	4%
7	2253	2616	2434,5	1	49	0,02	2%

Fuente: Realizado por el autor

Figura. 4.14. Histograma y Polígono de Frecuencia de Potencia (9:30 – 10:00)



Fuente: Realizado por el autor

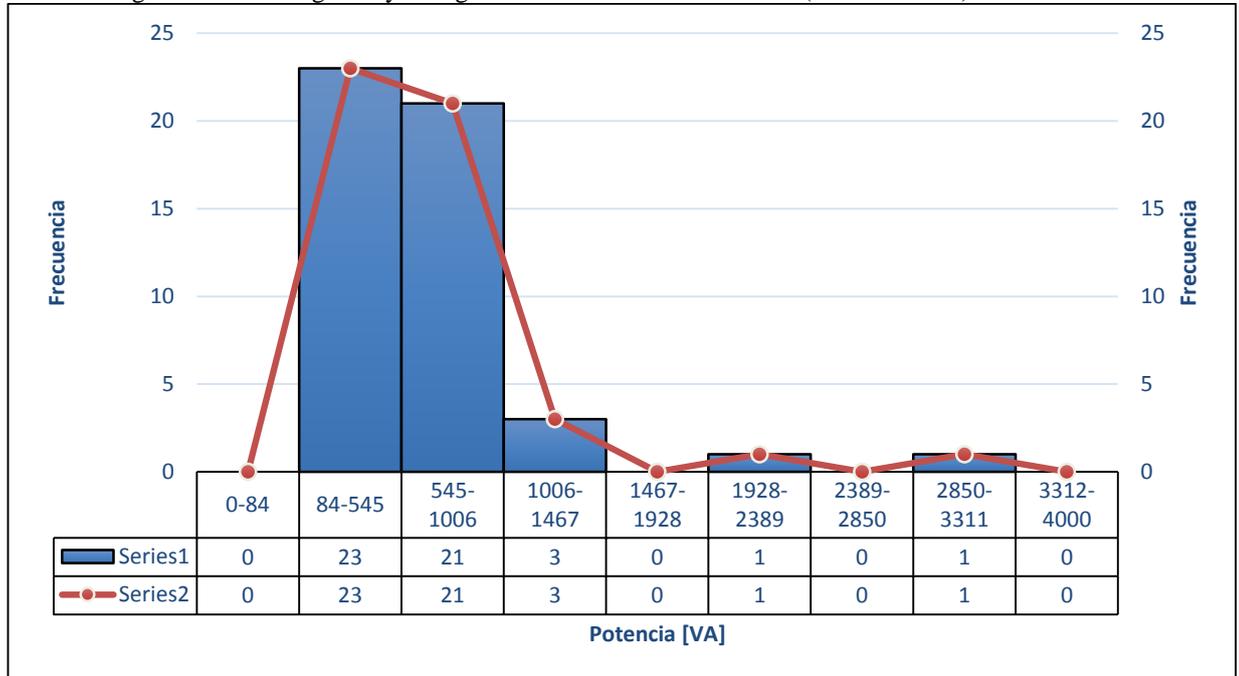
#### 4.2.1.5. Potencias en las horas de 10:00 a 10:30

Cuadro 4.16. Potencias en el periodo de análisis de (10:00 – 10:30)

N° De Datos	49						
Valor máximo	3309						
Valor mínimo	84						
Rango	3225						
N° De Intervalos	7						
Amplitud de clase	461						
Clase	Límite Inferior [VA]	Límite Superior [VA]	Marca de clase [VA]	Frecuencia Absoluta	Frecuencia Absoluta Acumulada	Frecuencia Relativa	Frecuencia Porcentual
1	84	545	314,5	23	23	0,47	47%
2	545	1006	775,5	21	44	0,43	43%
3	1006	1467	1236,5	3	47	0,06	6%
4	1467	1928	1697,5	0	47	0,00	0%
5	1928	2389	2158,5	1	48	0,02	2%
6	2389	2850	2619,5	0	48	0,00	0%
7	2850	3311	3080,5	1	49	0,02	2%

Fuente: Realizado por el autor

Figura. 4.15. Histograma y Polígono de Frecuencia de Potencia (10:00 – 10:30)



Fuente: Realizado por el autor

De la misma manera se tabula toda la información para cada uno de los casos, en todos los casos se presenta el mismo fenómeno en el cual existen pocos valores elevados de potencia con respecto a la tendencia, esto puede ocurrir debido a que alguna carga fuerte ingreso en esos días.

En la siguiente tabla se indica todos los valores resultantes con su respectiva frecuencia de ocurrencia.

Cuadro 4.17. Potencias en el periodo de análisis con su frecuencia

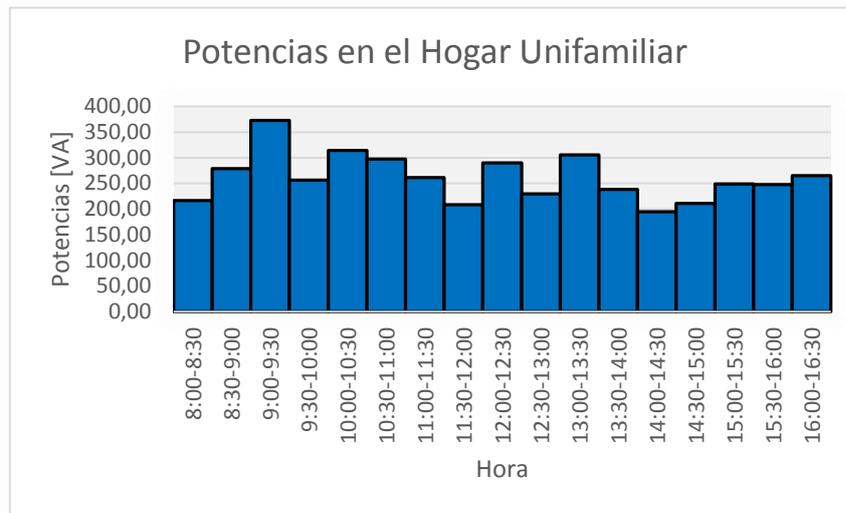
<b>Hora</b>	<b>Potencia (Watt)</b>	<b>Frecuencia</b>
8:00-8:30	216,50	90%
8:30-9:00	279,00	82%
9:00-9:30	373,00	73%
9:30-10:00	256,50	63%
10:00-10:30	314,50	47%
10:30-11:00	297,50	53%
11:00-11:30	261,50	55%
11:30-12:00	208,50	45%
12:00-12:30	290,00	84%
12:30-13:00	229,50	55%
13:00-13:30	305,50	67%
13:30-14:00	238,00	63%
14:00-14:30	195,00	65%
14:30-15:00	211,00	61%
15:00-15:30	249,00	71%
15:30-16:00	247,50	82%
16:00-16:30	265,00	84%

Fuente: Realizado por el autor

En la siguiente figura se evidencia el comportamiento de la carga a medida que se avanza en el tiempo.

En el gráfico se observa de manera clara que la carga en el tiempo se comporta de forma aleatoria, esto no implica ninguna complicación con el sistema fotovoltaico dado que debido a su interconexión con la red las potencias que sobrepasen su capacidad serán abastecidas por la empresa eléctrica.

Figura. 4.16. Tendencia de la potencia de la carga en función del tiempo



Fuente: Realizado por el autor

#### 4.2.2. Energía consumida en el hogar unifamiliar

A continuación se muestra tabulado los resultados de la cantidad de energía demandada por el hogar unifamiliar en el periodo de estudio.

Cuadro 4.18. Potencias en el periodo de análisis con su frecuencia

	Energía máx. [Wh]	Energía mín. [Wh]	Promedio [Wh]	Energía acumulada promedio [Wh]
8:00-8:30	115,56	36,94	76,35	76,35
8:30-9:00	143,20	36,94	87,15	163,50
9:00-9:30	558,59	33,00	187,12	350,62
9:30-10:00	219,47	41,37	100,92	451,53
10:00-10:30	281,37	61,71	111,76	563,30
10:30-11:00	277,95	28,31	99,93	663,22
11:00-11:30	250,63	27,98	105,65	768,87
11:30-12:00	379,49	52,73	165,09	933,96
12:00-12:30	234,07	68,13	140,53	1074,49
12:30-13:00	205,73	62,06	134,13	1208,62
13:00-13:30	178,18	63,72	115,21	1323,83
13:30-14:00	184,35	63,45	110,83	1434,66
14:00-14:30	162,07	51,13	93,62	1528,29
14:30-15:00	315,99	27,53	116,06	1644,34
15:00-15:30	483,30	30,71	128,02	1772,37
15:30-16:00	481,38	32,51	123,36	1895,73
16:00-16:30	498,59	28,82	130,50	2026,23

Fuente: Realizado por el autor

### 4.3. Conclusiones del Capítulo

- La radiación incidente en el sitio de estudio en el periodo de 8:00 a 16:30 es igual o mayor a  $197 \text{ W/m}^2$ , esto significa que la irradiancia esta con valores elevados durante el periodo de análisis.
- Se mantiene una radiación igual o superior a los  $1000 \text{ W/m}^2$  desde las 10:00 a 14:00, esto indica que durante cuatro horas el panel solar fotovoltaico se encuentra trabajando en sus máximas potencias consideradas por el fabricante.
- La máxima potencia que se tiene registrado en los datos obtenidos es de 373 Watt, evento suscitado de 9:00 a 9:30, para el caso planteado se debe considerar que la energía o la potencia que no pueda suministrar el módulo lo hará directamente la empresa eléctrica.
- La energía consumida por el hogar, en las horas en los que se considera optimo el funcionamiento del panel solar fotovoltaico, es de 2026,23 Wh/día, para que el sistema no entregue energía a la red eléctrica se debe evitar sobrepasar este valor de energía consumida.

## **CAPÍTULO V**

### **5. PROPUESTA**

#### **5.1. Título**

Diseño de un sistema híbrido de generación, utilizando energía fotovoltaica para reducir la demanda de energía en un hogar unifamiliar del barrio los Molinos, Latacunga, 2013.

#### **5.2. Justificación**

En la actualidad se conoce que, todo lo que funciona lo hace en base de electricidad, este recurso se ha vuelto indispensable para el continuo desarrollo de las actividades diarias, la preocupación que existe hoy en día es el agotamiento de los recursos no renovables como son los provenientes del petróleo, además, se suma la preocupación de los gases de efecto invernadero que se emiten diariamente hacia la atmosfera del planeta y el cual ha provocado la presencia de varios fenómenos climáticos.

En lo que se trata de generación eléctrica los países se han vuelto dependientes de las centrales térmicas cuya energía primaria justamente son los derivados del petróleo y evidentemente también producen gases de efecto invernadero, dado la importancia de mantener siempre en firme el recurso de la energía eléctrica y disminuir la contaminación al ambiente por emisiones de CO<sub>2</sub> muchos países han optado por la utilización de generadores que tengan como fuente primaria energías renovables.

En este tiempo el Ecuador también se ha sumado al esfuerzo de disminuir en cierto grado la contaminación ambiental y dejar de depender de fuentes no renovables de energía y tender hacia una producción de electricidad donde predominen fuentes renovables de energía.

Por lo mencionado anteriormente se justifican los estudios que se realicen orientados a la generación de energía eléctrica que sea amigable con el ambiente en el ámbito que corresponda.

### **5.3. Objetivos**

Evaluar la capacidad del módulo solar fotovoltaico que deba ser instalado para que la energía producida por el mismo sea consumida en el hogar.

### **5.4. Estructura de la Propuesta**

Para la estructuración de la propuesta, se tiene que primero evaluar los datos obtenidos de radiación solar y contrastar con las curvas V-I que el fabricante de paneles solares facilita para poder determinar la máxima potencia que este puede entregar al sistema con cada valor de radiación que se tiene contemplado, con esta información de potencia se determina la cantidad de energía que aporta el sistema fotovoltaico en las horas que se establecen con respecto al consumo general de la vivienda.

### **5.5. Desarrollo de la Propuesta**

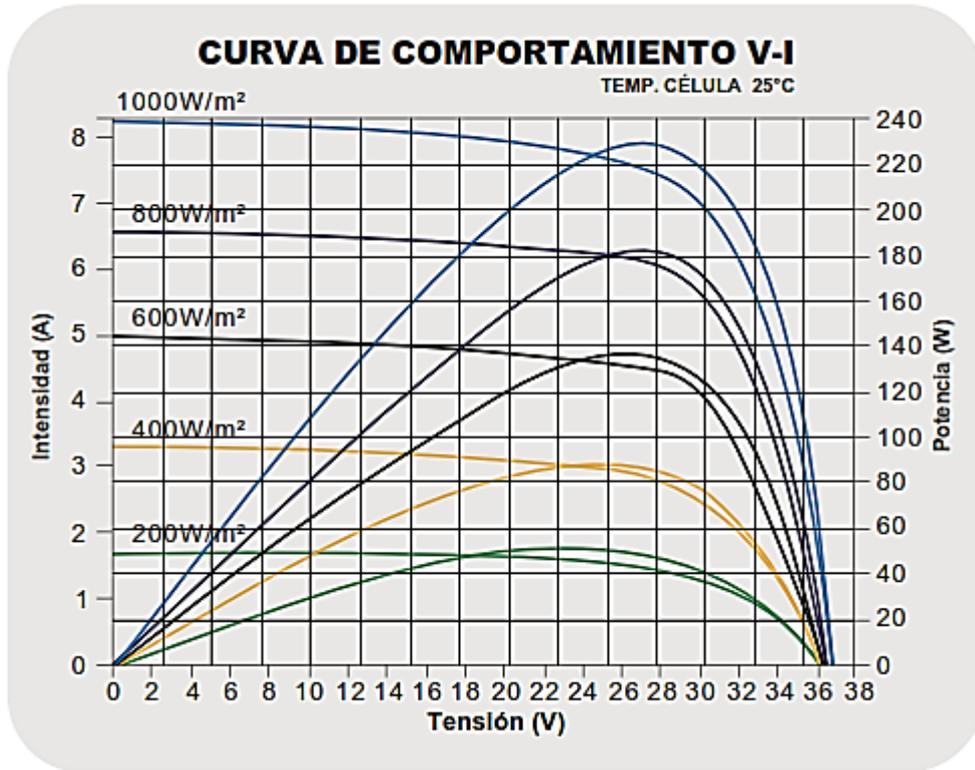
Para este punto se debe tener en consideración que el diseño del sistema se basa básicamente en que la energía que se produzca se consuma en el mismo hogar dado a lo mencionado en anteriores ocasiones.

#### **5.5.1. Determinación de la cantidad de energía que se puede producir en el sitio con la instalación de panel solar fotovoltaico**

Para esto es necesario contar con los datos de la irradiancia en el sitio y las curvas de P-V proporcionados por los fabricantes de módulos solares fotovoltaicos.

En la siguiente figura se muestra la curva característica de un panel solar de 230 Wp en los que se puede observar claramente la relación entre la potencia, el voltaje y corriente determinando directamente el punto de máxima potencia.

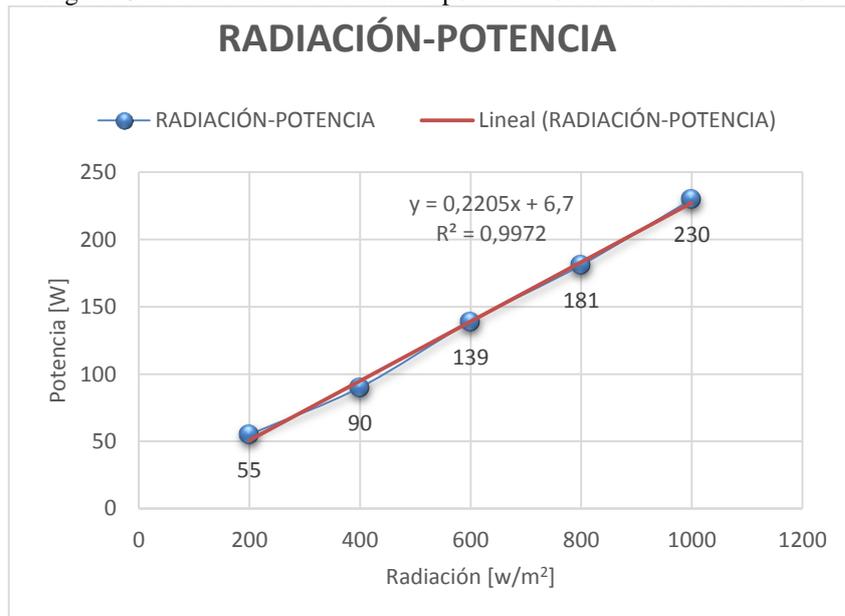
Figura. 5.1. Curvas V-I y V-P del panel solar fotovoltaico



Fuente: (ZYTECH SOLAR)

Para esto se procede a tabular los datos observados de radiación y de máxima potencia y sacar la línea de tendencia para evaluar la máxima potencia que se puede obtener del módulo fotovoltaico.

Figura. 5.2. Tendencia de la máxima potencia con relación a la radiación



Fuente: Realizado por el autor

Con la ecuación determinada y el tiempo de la toma de datos se puede estimar fácilmente la cantidad de energía que se produce en el sitio ubicado por el panel solar fotovoltaico.

Cuadro 5.1. Potencias y energía producida por el módulo solar fotovoltaico

<b>Hora</b>	<b>Radiación [W/m<sup>2</sup>]</b>	<b>Potencia máxima Módulo fotovoltaico (Watt)</b>	<b>Eficiencia inversor</b>	<b>Potencia entregada a la red (Watt)</b>	<b>Energía (Wh)</b>
8:00-8:30	578,50	134,26	92%	123,52	61,76
8:30-9:00	674,00	155,32	92%	142,89	71,45
9:00-9:30	440,00	103,72	92%	95,42	47,71
9:30-10:00	781,50	179,02	92%	164,70	82,35
10:00-10:30	1000,00	227,20	92%	209,02	104,51
10:30-11:00	1107,50	250,90	92%	230,83	115,42
11:00-11:30	1110,00	251,46	92%	231,34	115,67
11:30-12:00	1196,00	270,42	92%	248,78	124,39
12:00-12:30	1225,50	276,92	92%	254,77	127,38
12:30-13:00	1207,50	272,95	92%	251,12	125,56
13:00-13:30	1111,50	251,79	92%	231,64	115,82
13:30-14:00	1060,50	240,54	92%	221,30	110,65
14:00-14:30	406,00	96,22	92%	88,53	44,26
14:30-15:00	241,00	59,84	92%	55,05	27,53
15:00-15:30	297,50	72,30	92%	66,51	33,26
15:30-16:00	260,50	64,14	92%	59,01	29,50
16:00-16:30	197,00	50,14	92%	92,25	46,13
<b>TOTAL</b>					<b>1383,35</b>

Fuente: Realizado por el autor

En este caso se toma una eficiencia del inversor de un 92% dado que en la actualidad este tipo de inversores poseen esta característica óptima de transformación de energía.

El inversor a utilizarse debe ser de una potencia nominal de 300 Watt con un rango de voltaje y de corrientes adecuados con referencia a la figura 39 para que pueda buscar de una manera óptima el máximo punto de potencia del panel fotovoltaico y aproveche la energía de este al máximo.

En la siguiente tabla se puede notar la potencia consumida y la potencia entregada por el sistema solar fotovoltaico.

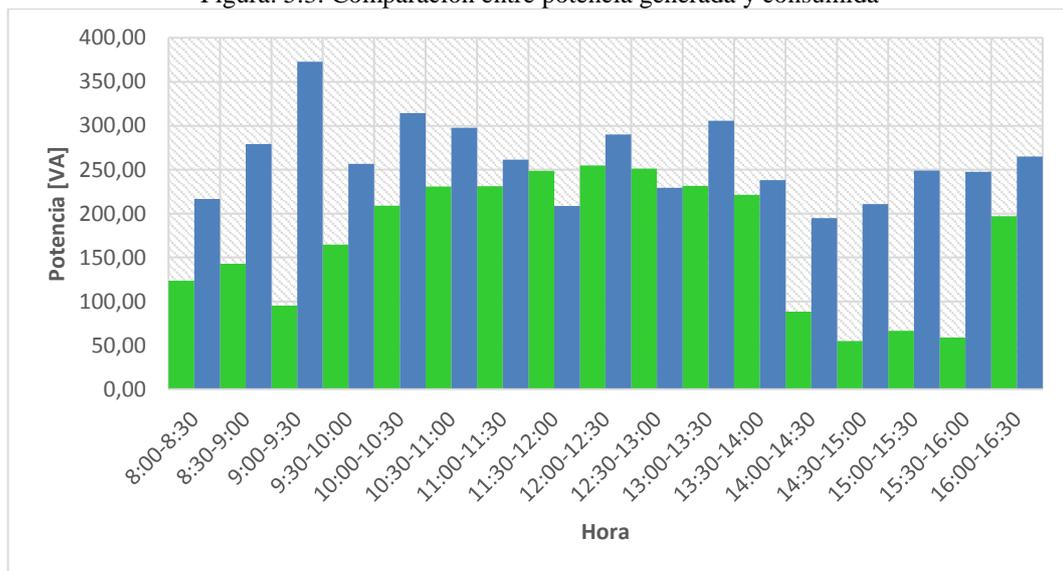
Al igual en la figura 41 se aprecia claramente el comportamiento de la potencia en cada intervalo de tiempo considerado.

Cuadro 5.2. Comparación entre potencia generada y consumida

Hora	Potencia promedio entregada a la red (VA)	Potencia promedio consumida (VA)
8:00-8:30	123,52	216,50
8:30-9:00	142,89	279,00
9:00-9:30	95,42	373,00
9:30-10:00	164,70	256,50
10:00-10:30	209,02	314,50
10:30-11:00	230,83	297,50
11:00-11:30	231,34	261,50
11:30-12:00	248,78	208,50
12:00-12:30	254,77	290,00
12:30-13:00	251,12	229,50
13:00-13:30	231,64	305,50
13:30-14:00	221,30	238,00
14:00-14:30	88,53	195,00
14:30-15:00	55,05	211,00
15:00-15:30	66,51	249,00
15:30-16:00	59,01	247,50
16:00-16:30	197,00	265,00

Fuente: Realizado por el autor

Figura 5.3. Comparación entre potencia generada y consumida



Fuente: Realizado por el autor

En el cuadro y la figura se evidencian claramente el comportamiento de la potencia de carga y generación, no existe problema el hecho de que el módulo no pueda abastecer toda la potencia de la carga dado que como es un sistema interconectado la empresa eléctrica automáticamente abastece la carga faltante.

Finalmente se indica en el siguiente cuadro y gráfico el comportamiento de la energía consumida y producida en el sitio de estudio.

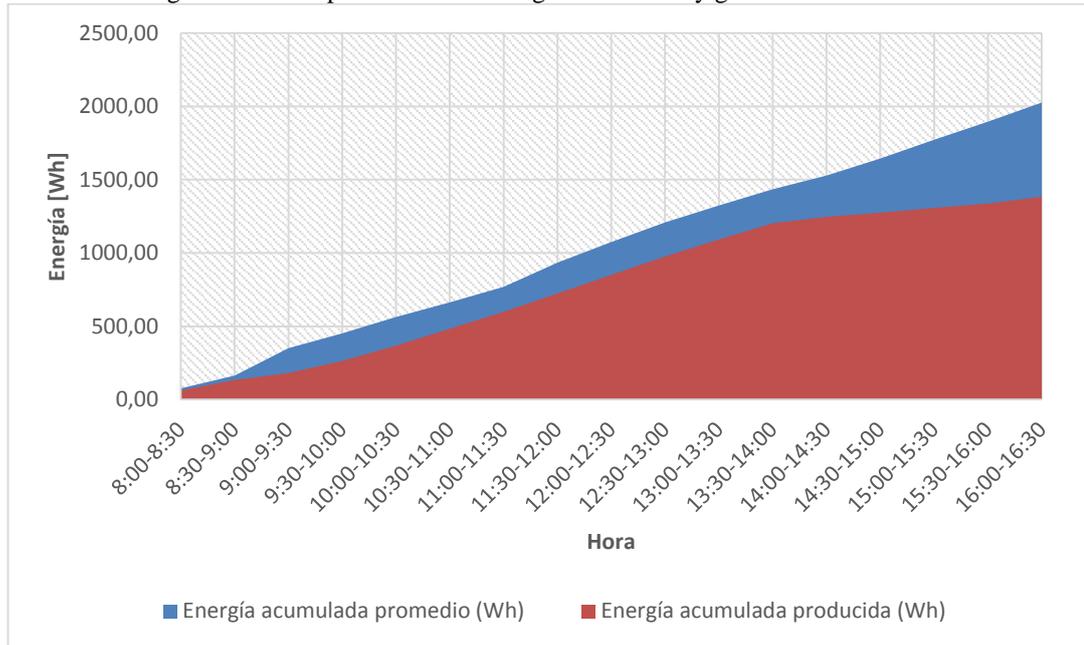
Cuadro 5.3. Resumen del comportamiento de la Energía

<b>Hora</b>	<b>Energía Producida (Wh)</b>	<b>Energía promedio consumida (Wh)</b>	<b>Porcentaje disminuido de consumo</b>	<b>Energía acumulada producida (Wh)</b>	<b>Energía acumulada promedio (Wh)</b>
8:00-8:30	61,76	76,35	81%	61,76	76,35
8:30-9:00	71,45	87,15	82%	133,21	163,50
9:00-9:30	47,71	187,12	25%	180,92	350,62
9:30-10:00	82,35	100,92	82%	263,27	451,53
10:00-10:30	104,51	111,76	94%	367,78	563,30
10:30-11:00	115,42	99,93	116%	483,19	663,22
11:00-11:30	115,67	105,65	109%	598,86	768,87
11:30-12:00	124,39	165,09	75%	723,26	933,96
12:00-12:30	127,38	140,53	91%	850,64	1074,49
12:30-13:00	125,56	134,13	94%	976,20	1208,62
13:00-13:30	115,82	115,21	101%	1092,02	1323,83
13:30-14:00	110,65	110,83	100%	1202,67	1434,66
14:00-14:30	44,26	93,62	47%	1246,93	1528,29
14:30-15:00	27,53	116,06	24%	1274,46	1644,34
15:00-15:30	33,26	128,02	26%	1307,71	1772,37
15:30-16:00	29,50	123,36	24%	1337,22	1895,73
16:00-16:30	46,13	130,50	35%	1383,35	2026,23
<b>Totales</b>	1383,35	2026,23	68%		

Fuente: Realizado por el autor

En este cuadro se muestra claramente el aporte de energía que se tiene por parte del sistema solar fotovoltaico hacia la red y el porcentaje con el que aporta en la reducción del consumo de energía eléctrica convencional.

Figura. 5.4. Comparación entre energía consumida y generada acumulada



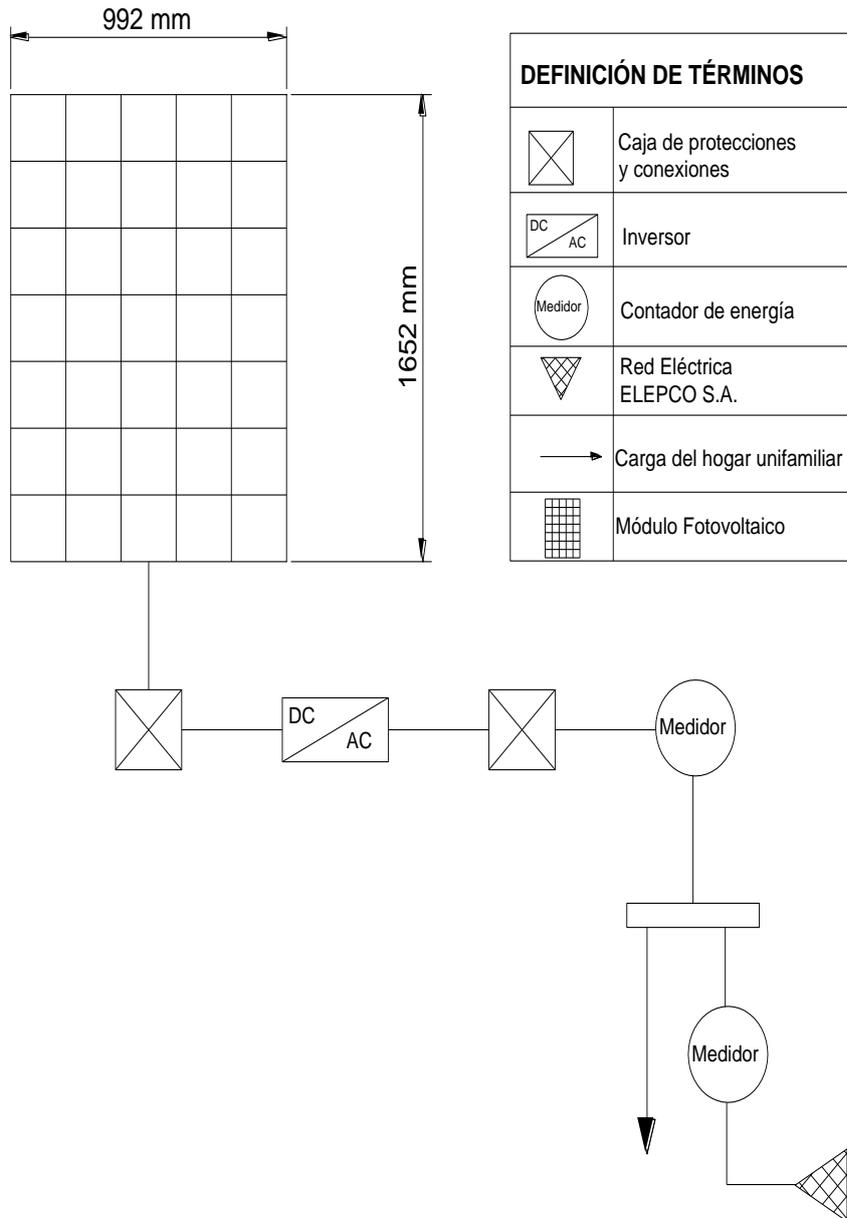
Fuente: Realizado por el autor

En la figura se puede notar claramente que la energía producida por el sistema solar fotovoltaico siempre se mantiene por debajo de la energía consumida por la carga, en estas condiciones se puede concluir que toda la energía que se produzca en el sistema solar fotovoltaico se consumirá en el hogar unifamiliar durante el periodo establecido.

La propuesta realizada se muestra en la figura 5.5 en donde se tienen los siguientes elementos.

- Modulo solar fotovoltaico de 230 Wp
- Caja de conexiones para el lado de corriente directa
- Protección fusible de 10 amperios en el lado de corriente directa
- Interruptor magnetotérmico omnipolar de 15 amperios conectado en el lado de alterna
- Interruptor magnetotérmico omnipolar de 20 amperios conectado en el lado de alterna.
- Conductores en continua 6 metros conductor 12 AWG
- Conductores en alterna 50 metros conductor 12 AWG.
- Contador de energía

Figura. 5.5. Diagrama unifilar de la propuesta



Fuente: Realizado por el autor

De acuerdo a lo citado anteriormente en el capítulo II (EE.RR. - IDAE, 2008) “Cada kWh generado con energía solar fotovoltaica evita la emisión a la atmósfera de aproximadamente 1 kg de CO<sub>2</sub>” Se puede determinar la cantidad de emisión de CO<sub>2</sub> que se evitaría enviar al ambiente si el sistema solar fotovoltaico planteado se instalara en el 70% de los usuarios.

Cuadro 5.4. Datos estimados si el 75% de la población instalara el sistema fotovoltaico

<b>Usuarios</b>	200	<b>Total de sistemas instalados</b>	150	<b>Total de energía producida al mes (kWh)/mes</b>	6225,06
<b>Porcentaje de usuarios que se instale el sistema solar</b>	75%	<b>Total de energía producida diaria (kWh)/día</b>	207,50	<b>Total de reducción de emisiones hacia la atmosfera kg de CO2 al mes</b>	6225,06

Fuente: Realizado por el autor

En el cuadro justamente se responde a lo dicho anteriormente y se nota que este tipo de sistemas pueden llegar a contribuir con el cuidado del medioambiente.

El sistema planteado finalmente queda establecido de la siguiente manera.

Cuadro 5.5. Costos estimados del sistema solar fotovoltaico

<b>EQUIPO</b>	<b>COSTO</b>
Panel Solar monocristalino 230 Wp	\$ 550
Inversor con una potencia de 300 watt que permita conexión con la red eléctrica	\$ 400
Sistema de protecciones e implementos para su instalación	\$ 100
Medidor	\$ 50
<b>TOTAL INVERSIÓN</b>	<b>\$ 1 100</b>

Fuente: Realizado por el autor

La energía que puede suministrar el sistema planteado al mes es de 41,5 kWh efectivo.

Para que este proyecto llegue a tener una rentabilidad económica se debe considerar varios parámetros, en este caso si el gobierno piensa impulsar este tipo de energías se debería pensar en subsidios, en tal situación si el gobierno plantea en el caso de este equipamiento un 40% de descuento en el valor total y se paga por cada kWh un costo de \$ 1,75 se tiene lo siguiente.

Cuadro 5.6. Cuadro resumen del análisis financiero de la implementación de la propuesta

Tasa de retorno planteada	10%
Inversión inicial	\$ 660
Pago mensual de esta energía	\$ 72,63
Años estimados de vida útil	25 años
TIR	11%
VAN	\$ 66,25

Fuente: Realizado por el autor

## CONCLUSIONES GENERALES

- Se mantiene una radiación igual o superior a los  $1000 \text{ W/m}^2$  desde las 10:00 a 14:00, esto indica que durante cuatro horas el panel solar fotovoltaico se encuentra trabajando en sus máximas potencias consideradas por el fabricante.
- La energía consumida por el hogar, en las horas en los que se considera óptimo el funcionamiento del panel solar fotovoltaico, es de 2026,23 Wh/día, para que el sistema no entregue energía a la red eléctrica se debe evitar sobrepasar este valor de energía consumida.
- Si se implementara el sistema propuesto en los hogares de los 150 usuarios, se tendría que al final del mes, el conjunto generaría un total de 6225,06 kWh, con esta cantidad de energía se puede decir que se dejó de emitir 6225,06 kg de  $\text{CO}_2$  al medioambiente, contribuyendo de esta forma al cuidado del mismo.
- Del análisis de la propuesta se obtiene que la energía producida por el sistema propuesto solamente se va a consumir dentro del hogar produciendo de esta manera una disminución de la energía consumida a la empresa eléctrica.
- Se estimó que el sistema solar fotovoltaico puede llegar a suministrar en promedio hasta un 68% de la energía total existente en el hogar en el que se realizó el estudio.
- Del análisis financiero, se concluye que debería existir un subsidio por un valor del 40% del total de la inversión, y un pago por kWh producido de 1,75 USD, para que este sistema sea viable económicamente.

## **RECOMENDACIONES GENERALES**

- Para la instalación de sistemas solares fotovoltaicos, se debe considerar los subsidios y tarifas preferenciales existentes, de lo contrario la inversión realizada no se logra recuperarla.
- Se debe realizar en Ecuador, estudios de la capacidad energética que pueden ofrecer sistemas solares fotovoltaicos, en los sitios donde existe mayor cantidad de insolación.
- El mantenimiento que se le debe dar a los sistemas fotovoltaicos conectados a la red, simplemente es mantener limpio el panel del polvo, porque eso puede hacer que disminuya el rendimiento del mismo.
- Cuando se implemente una normativa, por parte del ente regulador, CONELEC, con lo relacionado a generación distribuida a nivel de usuarios residenciales, incentivando la energía renovable, se puede ampliar el estudio a determinar, la máxima energía que se puede suministrar a la red de distribución, y evaluar el rédito financiero con las condiciones de pago que plantee la regulación.

## REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

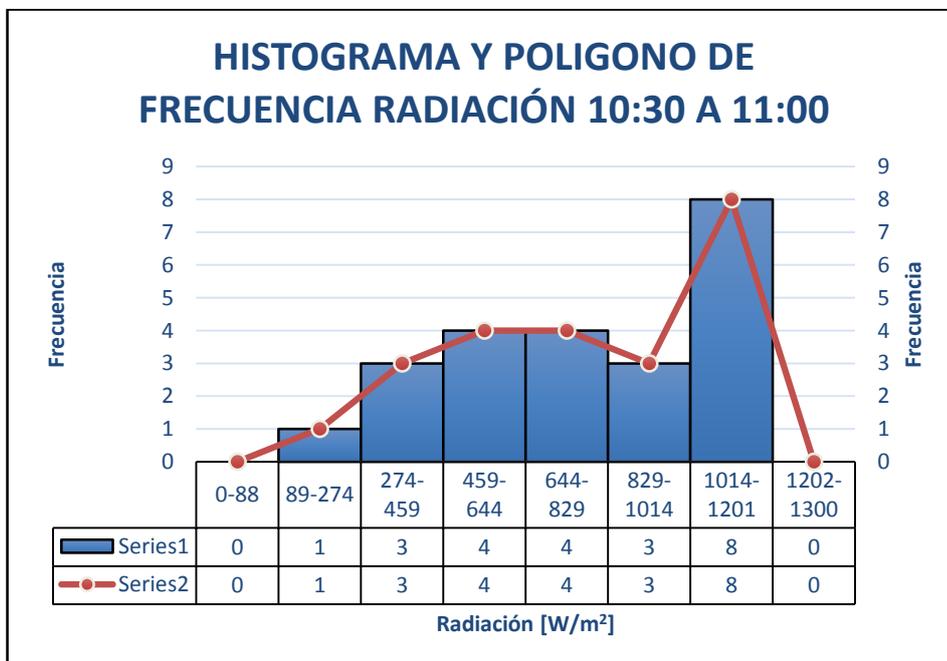
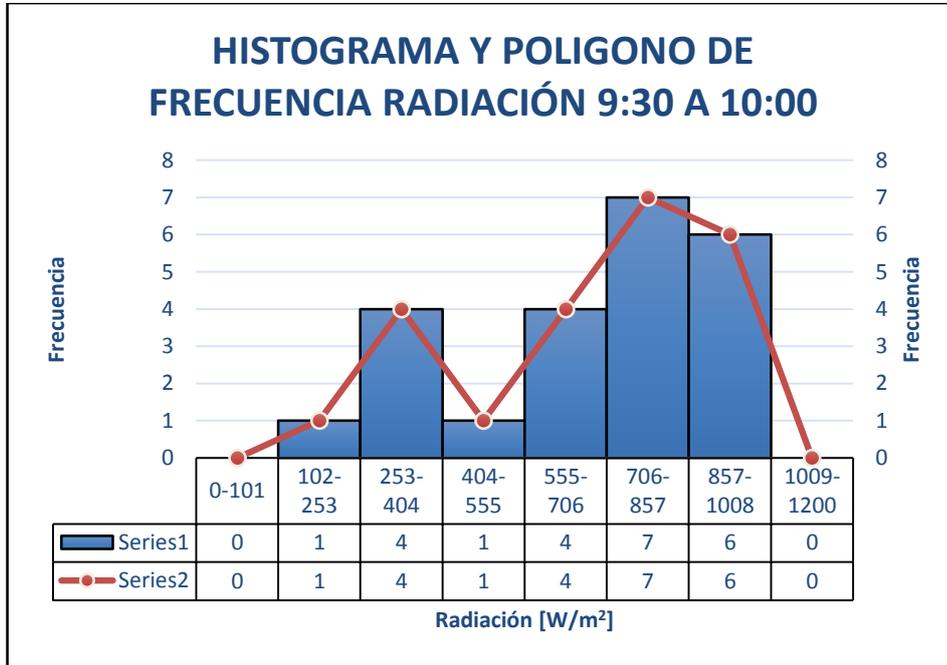
1. Bube, R. H. (1998). *Photovoltaic Materials*. Imperial College Press.
2. CONELEC. (2008). *Atlas Solar Del Ecuador con Fines de Generación Eléctrica*. Quito.
3. CONELEC. (2013). CARGOS TARIFARIOS. Recuperado el 4 de Abril de 2013, de <http://www.conelec.gob.ec/documentos.php?cd=3073&l=1>
4. CONELEC. (21 de Junio de 2013). Regulación para La participación de los generadores de energía eléctrica producida con Recursos Energéticos Renovables No Convencionales. *Regulación No. CONELEC 001/13*. Recuperado el 29 de Noviembre de 2013, de [http://www.conelec.gob.ec/normativa\\_detalle.php?cd\\_norm=624](http://www.conelec.gob.ec/normativa_detalle.php?cd_norm=624)
5. CURSOLAR. (Lunes de Diciembre de 2006). Recuperado el 29 de Noviembre de 2013, de [http://www.ujaen.es/investiga/solar/07cursosolar/home\\_main\\_frame/02\\_radiacion/01\\_basico/2\\_radiacion\\_10.htm](http://www.ujaen.es/investiga/solar/07cursosolar/home_main_frame/02_radiacion/01_basico/2_radiacion_10.htm)
6. ECATEPEC de Morelos. (2009). *Libro de Ciencia y Tecnología N° 2 Tecnologías Solar-Eolica-Hidrógeno-Pilas de Combustible como fuentes de energía* (Primera ed.). México.
7. EE.RR. - IDAE. (2008). El Sol Puede ser Suyo.
8. Ente Regional de La Energía de Castilla León. (2004). *Energía Solar Fotovoltaica: Manual del Instalador*. JUNTA DE CASTILLA Y LEON.
9. Facultad de Arquitectura Universidad ORT. (2009). *Manual de energía solar térmica e instalaciones asociadas*. Imprenta Grafinel.
10. Gasquet, H. (2004). *Conversión de la Luz Solar en Energía Eléctrica Manual Teórico y Práctico sobre los Sistemas Fotovoltaicos*. México. Obtenido de <http://www.solartronic.com>
11. GREENPEACE. (2005). *Cómo disponer de energía solar fotovoltaica conectada a la red eléctrica GUÍA SOLAR*.
12. Instituto Tecnológico de Canarias S.A. (2008). *Energías renovables y eficiencia energética*.

13. Kaltschmitt, M., Streicher, W., & Wiese, A. (2007). *Renewable Energy Technology ,Economics and Environment*. New York: Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
14. Obra Social Caja Madrid. (2006). *Guía de la Energía Solar*. Madrid: Industrias Gráficas el Instalador.
15. Obregoso, C., & Arivilca, R. (2010). *Energía Solar Fotovoltaica Manual técnico para instalaciones fotovoltaicas*.
16. Perpiñán Lamigueiro, O. (Marzo de 2013). *Energía Solar Fotovoltaica*.  
Obtenido de <http://procomun.wordpress.com/documentos/libroesf/>
17. REN21. (2013). *Renewables 2013 Global Status Report*. Obtenido de <http://www.ren21.net>
18. ZYTECH SOLAR. (s.f.). Módulos Fotovoltaicos. España. Recuperado el 20 de 11 de 2013, de [www.zytechsolar.com](http://www.zytechsolar.com)

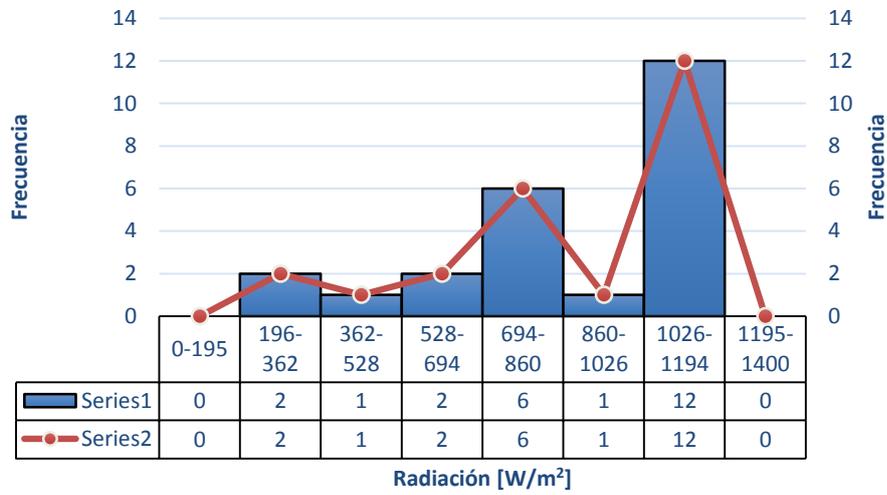
# ANEXOS

## ANEXO I

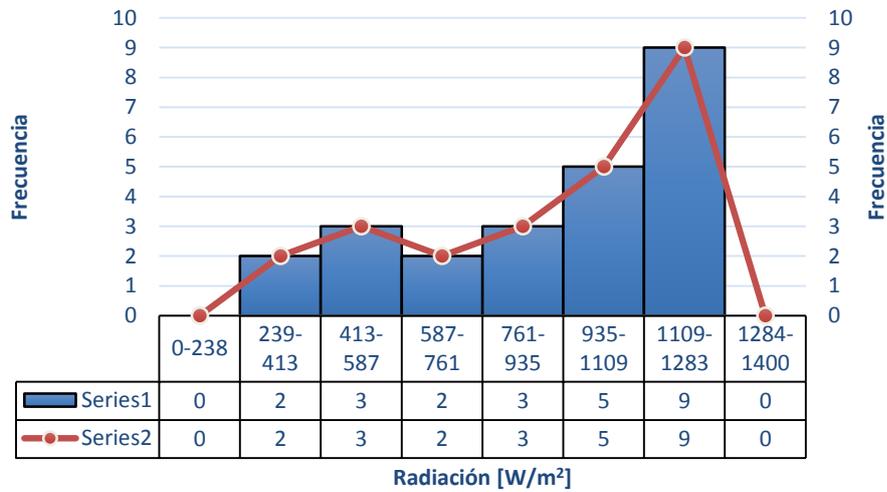
### HISTOGRAMA Y POLIGONO DE FRECUENCIA DE LOS DATOS NO CONSIDERADOS EN EL CAPÍTULO IV DE IRRADIANCIA.



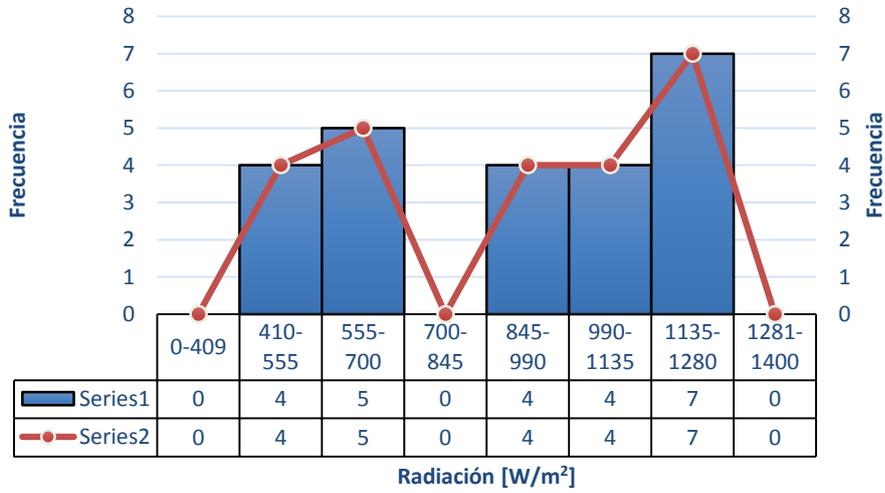
### HISTOGRAMA Y POLIGONO DE FRECUENCIA RADIACIÓN 11:00 A 11:30



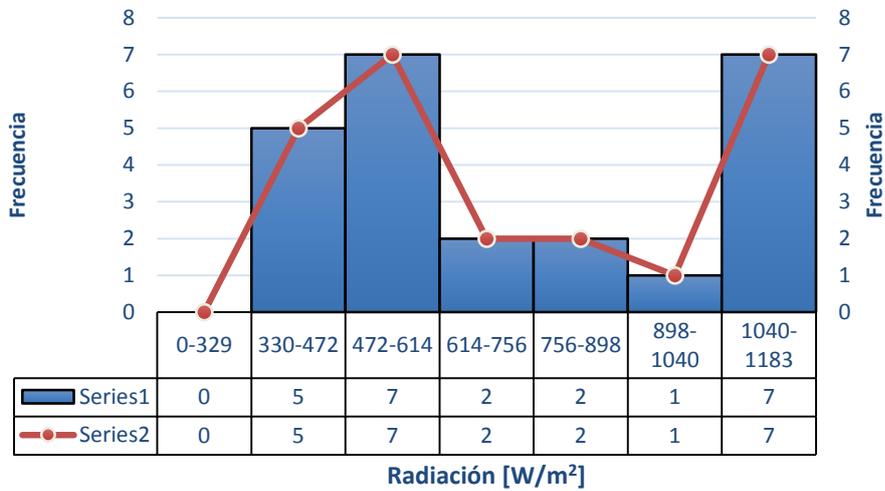
### HISTOGRAMA Y POLIGONO DE FRECUENCIA RADIACIÓN 11:30 A 12:00



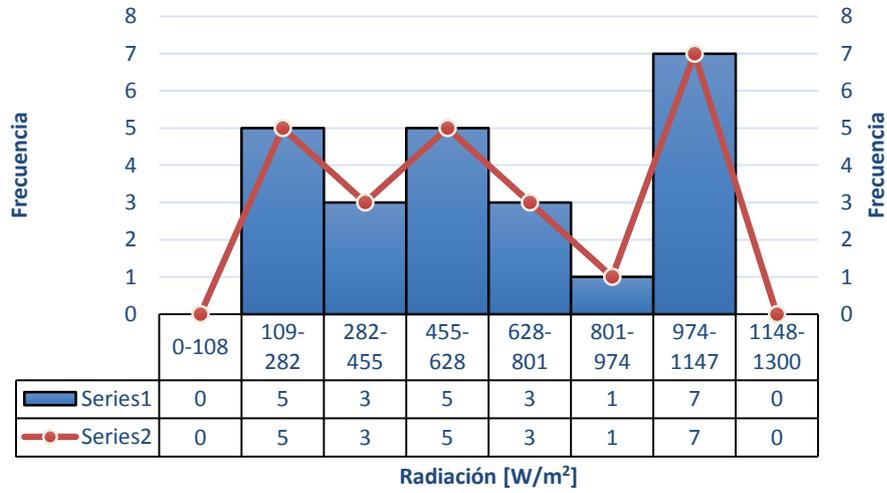
### HISTOGRAMA Y POLIGONO DE FRECUENCIA RADIACIÓN 12:30 A 13:00



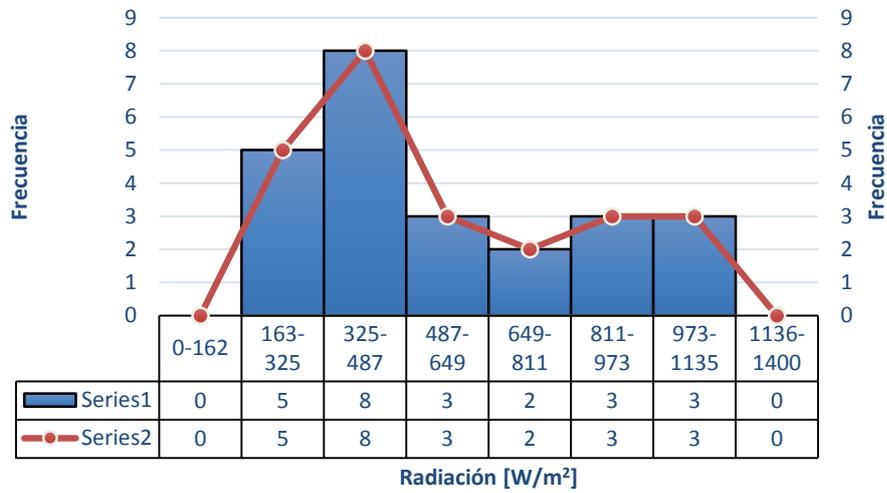
### HISTOGRAMA Y POLIGONO DE FRECUENCIA RADIACIÓN 13:00 A 13:30



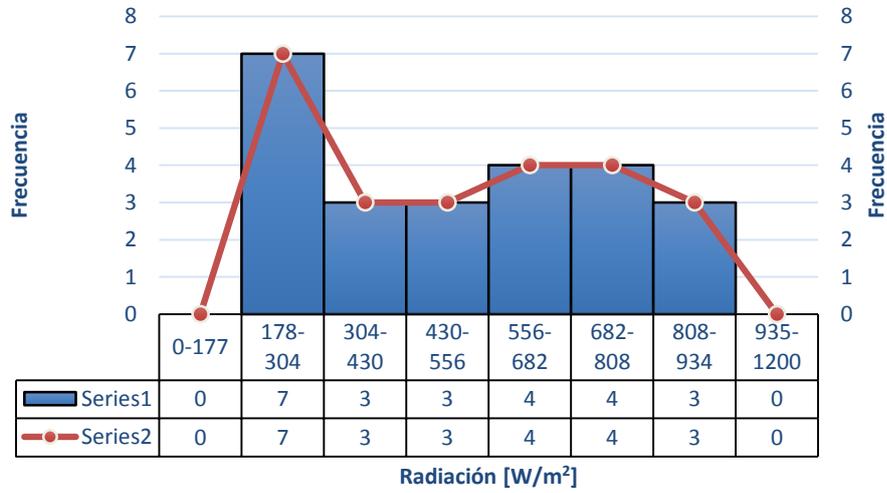
### HISTOGRAMA Y POLIGONO DE FRECUENCIA RADIACIÓN 13:30 A 14:00



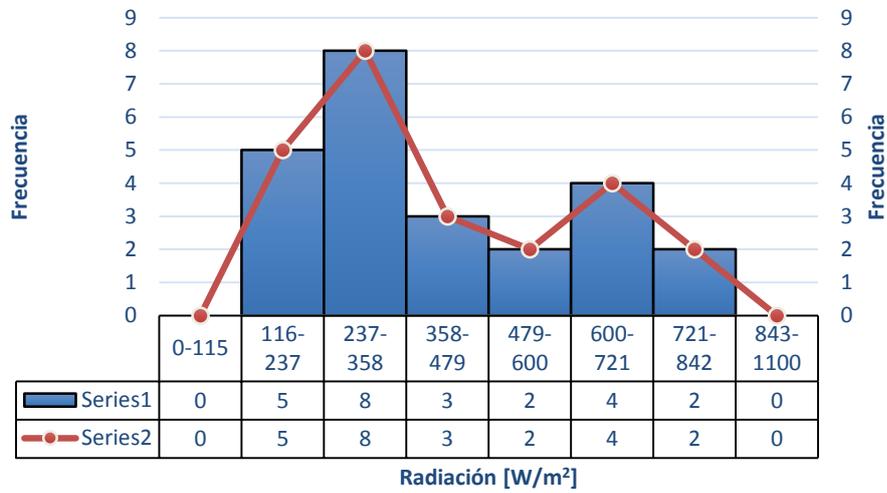
### HISTOGRAMA Y POLIGONO DE FRECUENCIA RADIACIÓN 14:00 A 14:30



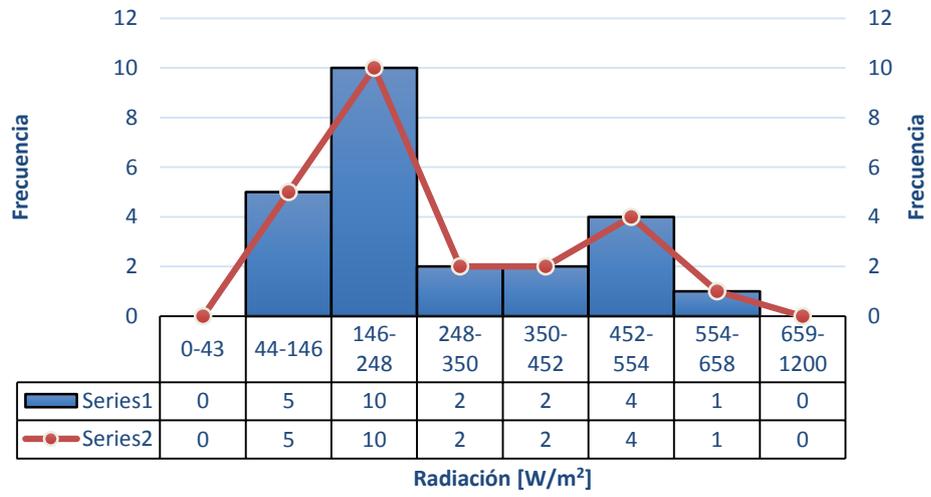
### HISTOGRAMA Y POLIGONO DE FRECUENCIA RADIACIÓN 14:30 A 15:00



### HISTOGRAMA Y POLIGONO DE FRECUENCIA RADIACIÓN 15:00 A 15:30

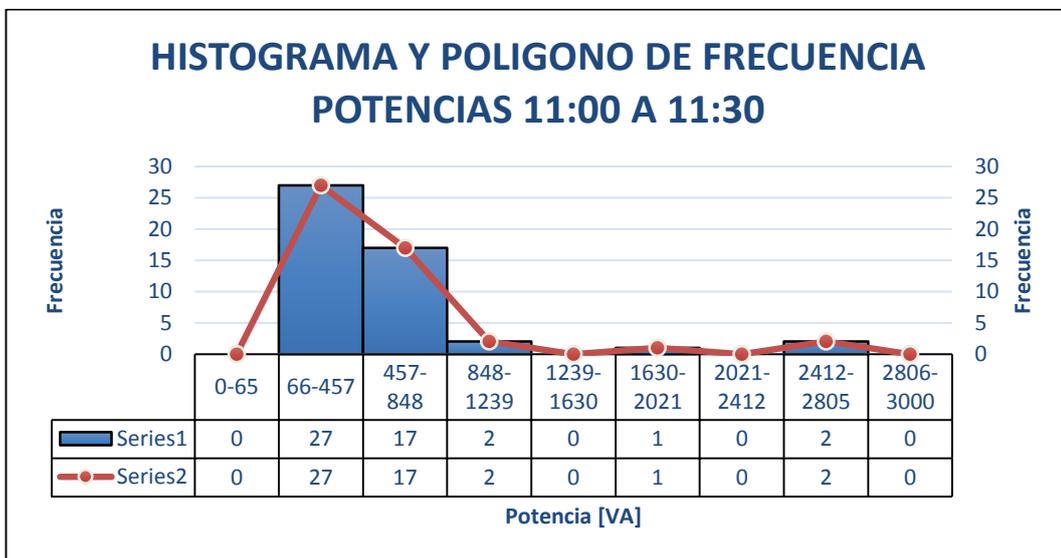
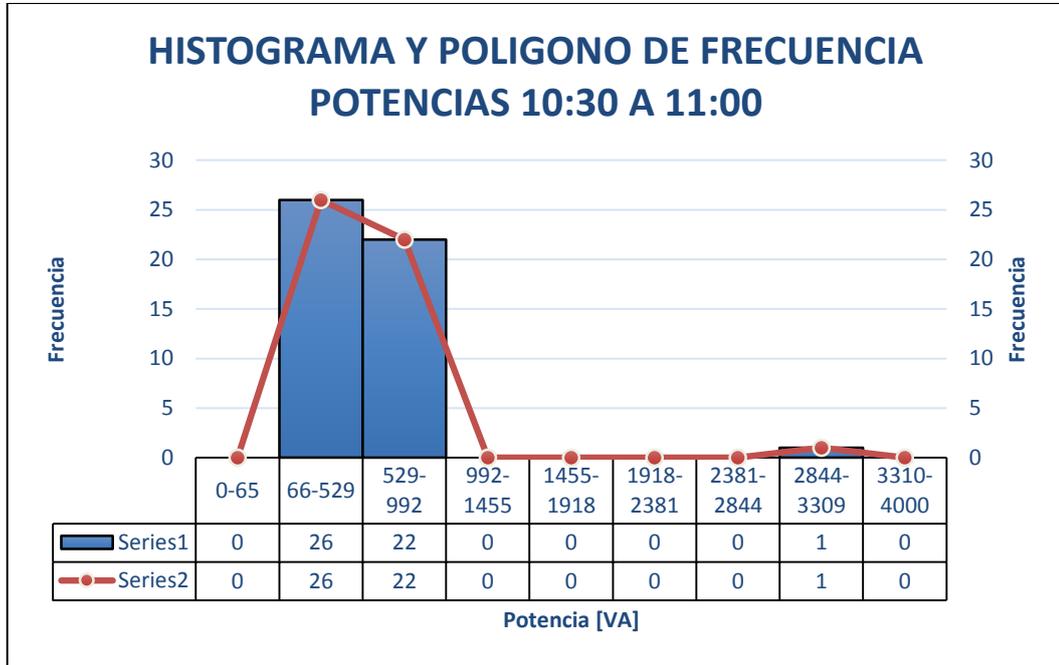


## HISTOGRAMA Y POLIGONO DE FRECUENCIA RADIACIÓN 16:00 A 16:30

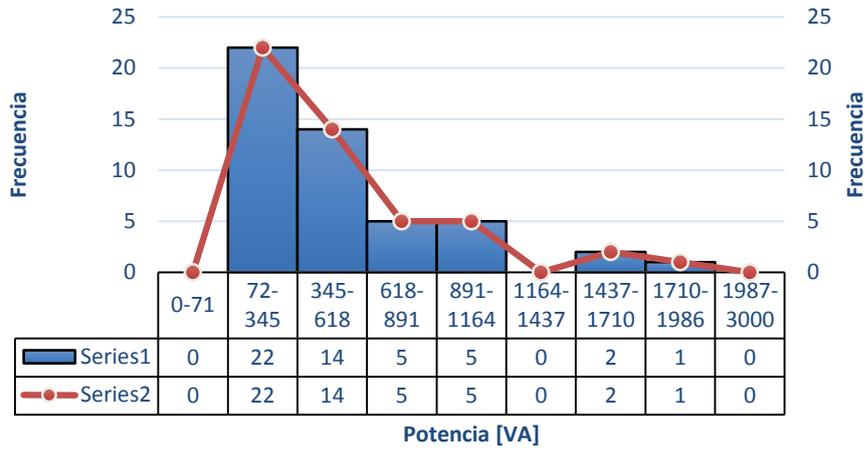


## ANEXO II

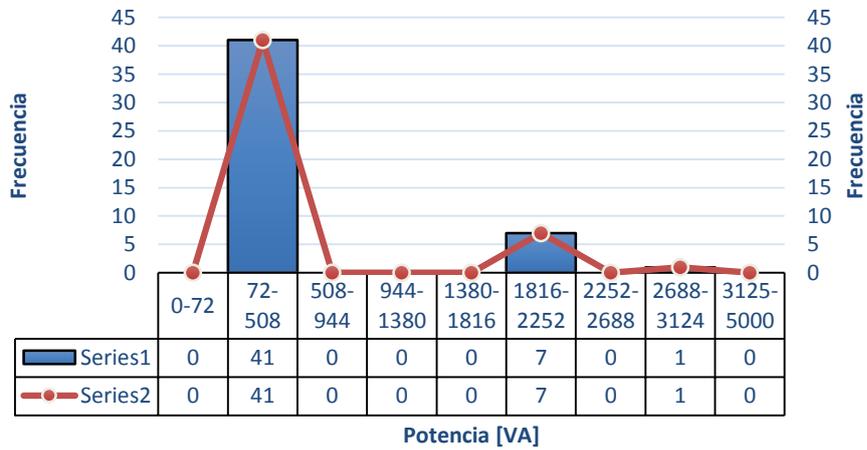
### HISTOGRAMA Y POLIGONO DE FRECUENCIA DE LOS DATOS NO CONSIDERADOS EN EL CAPÍTULO IV DE POTENCIAS MÁXIMAS.



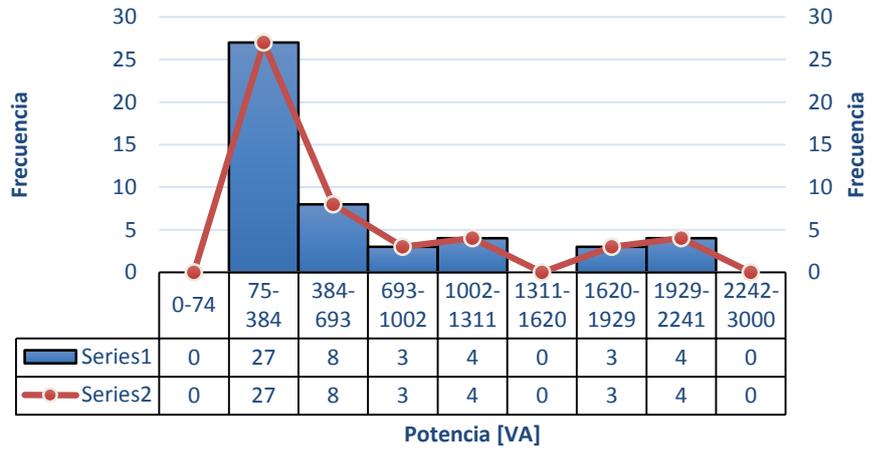
### HISTOGRAMA Y POLIGONO DE FRECUENCIA POTENCIAS 11:30 A 12:00



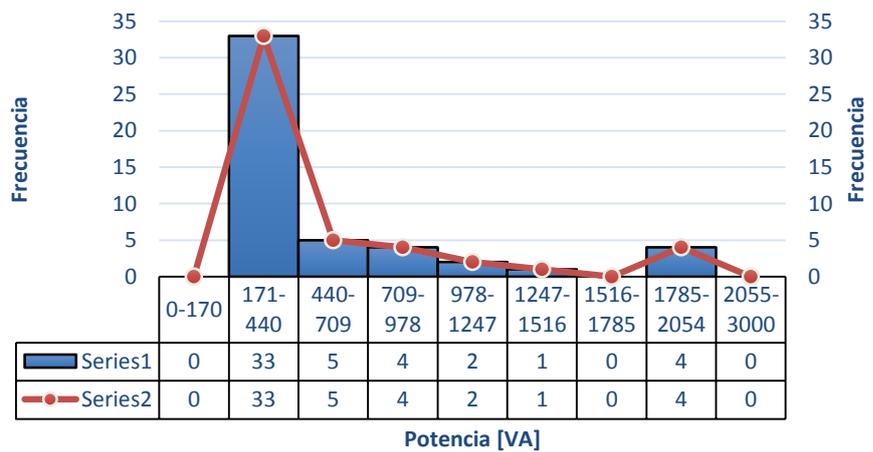
### HISTOGRAMA Y POLIGONO DE FRECUENCIA POTENCIAS 12:00 A 12:30



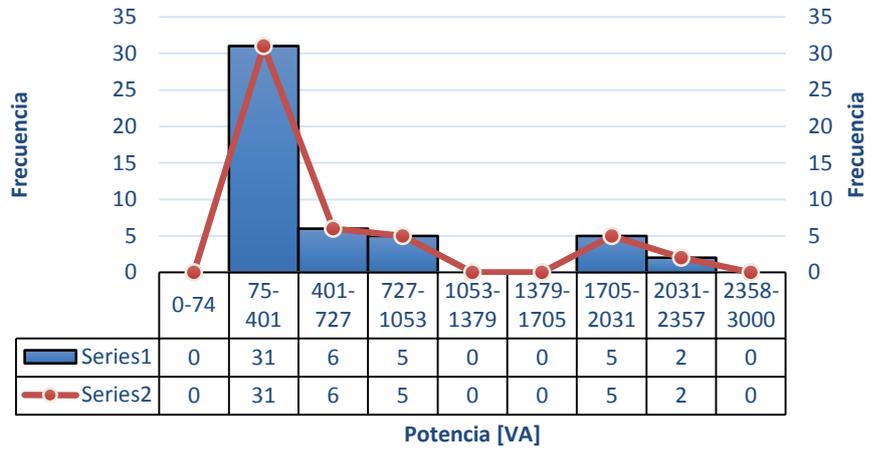
### HISTOGRAMA Y POLIGONO DE FRECUENCIA POTENCIAS 12:30 A 13:00



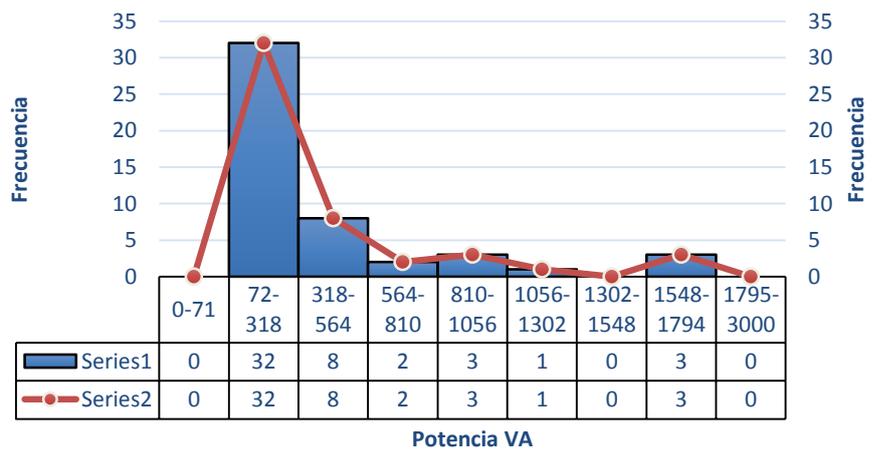
### HISTOGRAMA Y POLIGONO DE FRECUENCIA POTENCIAS 13:00 A 13:30



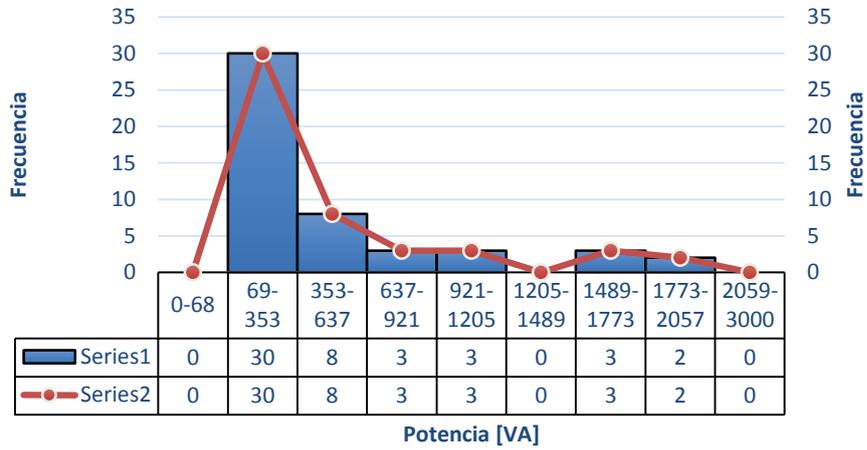
### HISTOGRAMA Y POLIGONO DE FRECUENCIA POTENCIAS 13:30 A 14:00



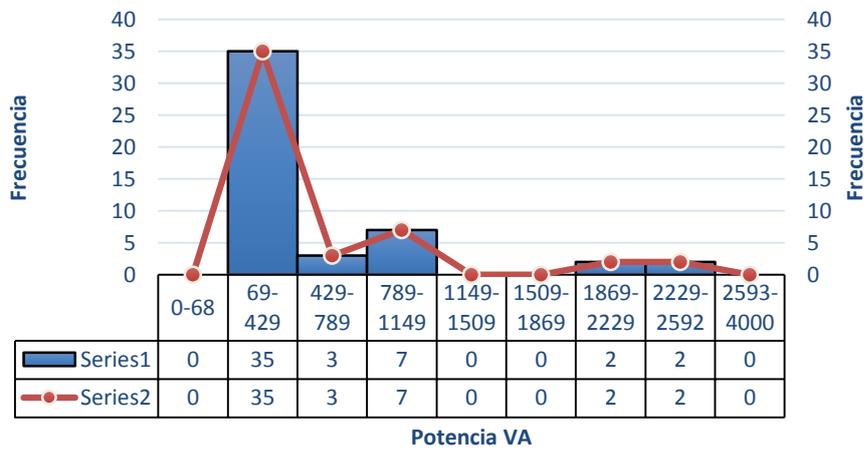
### HISTOGRAMA Y POLIGONO DE FRECUENCIA POTENCIAS 14:00 A 14:30



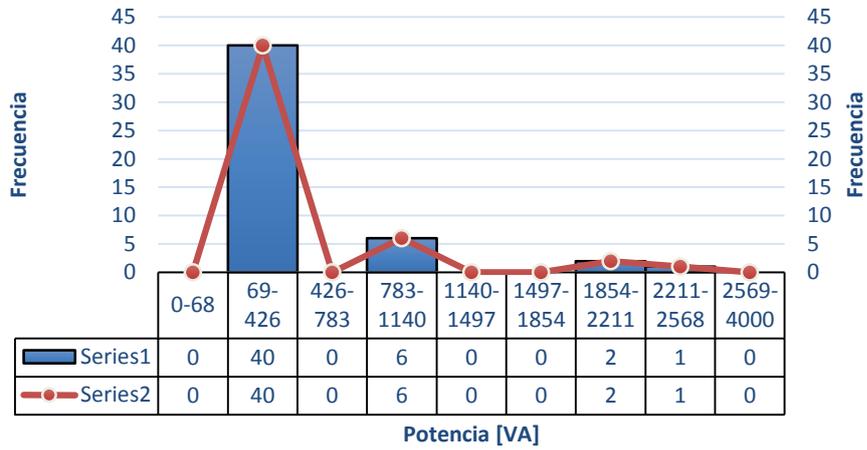
### HISTOGRAMA Y POLIGONO DE FRECUENCIA POTENCIAS 14:30 A 15:00



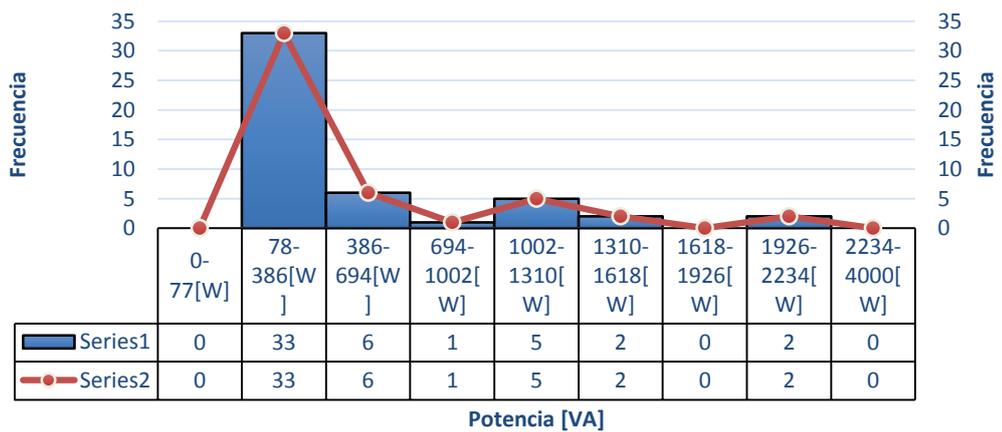
### HISTOGRAMA Y POLIGONO DE FRECUENCIA POTENCIAS 15:00 A 15:30



### HISTOGRAMA Y POLIGONO DE FRECUENCIA POTENCIAS 15:30 A 16:00



### HISTOGRAMA Y POLIGONO DE FRECUENCIA POTENCIAS 16:30 A 17:00



## ANEXO III DATOS DEL MÓDULO FOTOVOLTAICO A UTILIZARSE

### ZT 225P/230p poly ZYTECH MÓDULOS



Células	
Tecnología	Silicio polycristalino
Número de células por módulo	60
Dimensiones	156 × 156 mm

Características estructurales	
Dimensiones L × W × H	1652×992×50mm
Peso	20.0 kg

Características eléctricas			
		ZT 225P	ZT 230P
Potencia máxima	$P_{max}$	225 W	230 W
Tensión a circuito abierto	$V_{oc}$	36.54 V	36.84 V
Tensión punto máx. potencia	$V_{mpp}$	30.30 V	30.66 V
Intensidad de cortocircuito	$I_{sc}$	8.10 A	8.21 A
Intensidad punto máx. Potencia	$I_{mpp}$	7.43 A	7.50 A

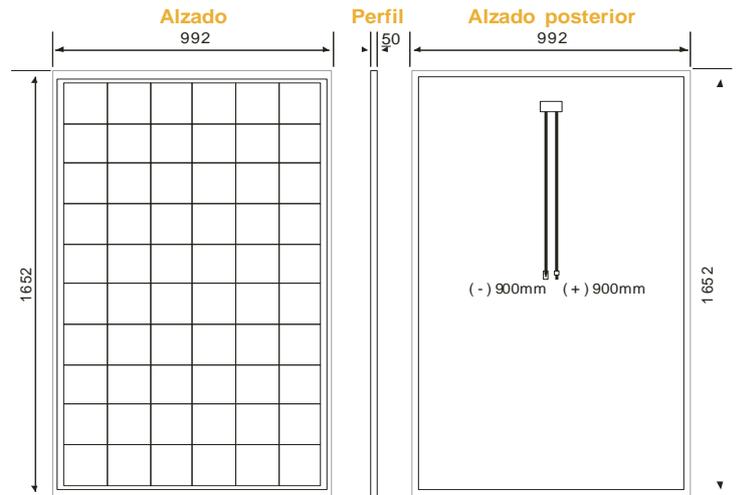
Factor FF	76.02 %	76.04 %
Eficiencia del módulo	13.73 %	14.03 %

\* En condiciones estándar (STC) Irradiancia 1000W/m<sup>2</sup>, AM1.5, temperatura de la célula 25°C

Características térmicas	
NOCT	47 °C ± 2°C
Coefficiente de temperatura de Voc	- (115 ± 5) mV / °C
Coefficiente de temperatura de Isc	+ 0.04 % / °C
Coefficiente de temperatura de Pm	- 0.35 % / °C

Parámetros del sistema	
Tensión máxima del sistema	1000 VDC
Máxima intensidad inversa	No aplicar a los módulos tensiones mayores a Voc

Características adicionales	
Caja de conexiones	1000 VDC
Conector	Plug type 4
Tolerancia	± 3%
Cable	4 mm <sup>2</sup>
Longitud del cable	900 mm
Número de diodos de by-pass	3 unidades



#### PARTES DEL MÓDULO

