



# **UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI**

## **DIRECCIÓN DE POSGRADO**

### **MAESTRÍA EN ELECTROMECAÁNICA**

#### **MODALIDAD: PROYECTO DE INVESTIGACIÓN**

**Título:**

---

**DISEÑO DE UN SISTEMA AUTOMÁTICO PARA CUBRIR LA  
DEMANDA ELÉCTRICA BÁSICA DE USUARIOS  
RESIDENCIALES CLASE C MEDIANTE ENERGÍAS  
RENOVABLES**

---

Protocolo previo a la obtención del título de Magister en Electromecánica

**Autor**

Ing. Guacapiña Simba Brayan Ivan

**Tutor**

Ing. Freire Martínez Luigi Orlando

**LATACUNGA – ECUADOR**

**2022**

## **LATACUNGA – ECUADOR 2022**

### **AVAL DEL TUTOR**

En mi calidad de Tutor del Trabajo de Titulación denominado “Diseño de un sistema automático para cubrir la demanda eléctrica básica de usuarios residenciales clase C mediante energías renovables” presentado por “Guacapiña Simba Brayan Ivan”, para optar por el título magíster en Electromecánica.

### **CERTIFICO**

Que dicho trabajo de investigación ha sido revisado en todas sus partes y se considera que reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a la presentación para la valoración por parte del Tribunal de Lectores que se designe y su exposición y defensa pública.

Latacunga, abril, 27, 2022



.....  
Ing. Freire Martínez Luigi Orlando.

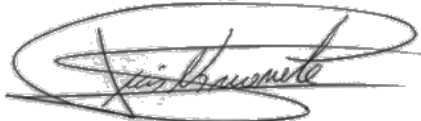
## AVAL DEL TRIBUNAL

El trabajo de Titulación: “Diseño de un sistema automático para cubrir la demanda eléctrica básica de usuarios residenciales clase C mediante energías renovables”, ha sido revisado, aprobado y autorizado su impresión y empastado, previo a la obtención del título de Magíster en Electromecánica; el presente trabajo reúne los requisitos de fondo y forma para que el estudiante pueda presentarse a la exposición y defensa.

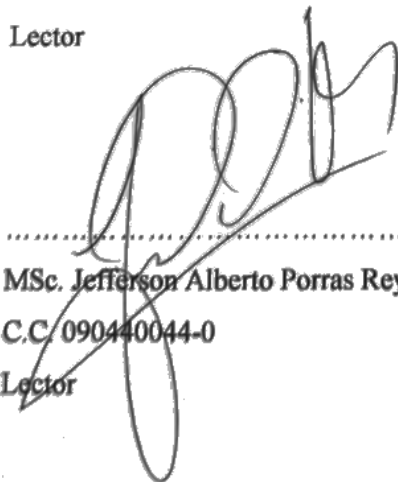
Latacunga, junio, 06, 2022



.....  
**PhD. Héctor Luis Laurencio Alfonso**  
**C.C. 175836725-2**  
**Presidente del tribunal**



.....  
**MSc. Luis Miguel Navarrete López**  
**C.C. 180374728-4**  
**Lector**



.....  
**MSc. Jefferson Alberto Porras Reyes**  
**C.C. 090440044-0**  
**Lector**

## DEDICATORIA

*A Dios por ser mi fortaleza en todo momento de debilidad por brindarme la bendición de la salud y permitirme culminar mis estudios.*

*Este trabajo lo dedico con toda admiración, respeto y amor a los pilares principales de mi vida a mis padres que me han apoyado en todo momento con gran esfuerzo y sacrificio en la trayectoria de mis estudios.*

*A mi hermana por estar de manera incondicional en todo momento apoyándome.*

***Guacapiña Simba Brayan Ivan***

## **AGRADECIMIENTO**

*Agradezco a Dios por brindarme la vida, salud y sabiduría por haberme guiado a cumplir mis metas planteadas por el camino correcto, junto a mi familia.*

*De igual manera a mis padres por su amor, educación por llenar mi vida con valiosos consejos que me dan para ser una persona de bien y seguir adelante cada día.*


*Con gran gratitud agradezco de gran manera a la distinguida Universidad Técnica de Cotopaxi que me ha encaminado al camino del conocimiento y formación profesional.*

***Guacapiña Simba Brayan Ivan***

## **RESPONSABILIDAD DE AUTORÍA**

Quien suscribe, declara que asume la autoría de los contenidos y los resultados obtenidos en el presente trabajo de titulación.

Latacunga, junio, 06, 2022




.....

**Ing. Brayan Ivan Guacapiña Simba**

## **RENUNCIA DE DERECHOS**

Quien suscribe, cede los derechos de autoría intelectual total y/o parcial del presente trabajo de titulación a la Universidad Técnica de Cotopaxi.

Latacunga, junio, 06, 2022



.....  
**Ing. Brayan Ivan Guacapiña Simba**

## **AVAL DEL PRESIDENTE DEL TRIBUNAL**

Quien suscribe, declara que el presente Trabajo de Titulación: “Diseño de un sistema automático para cubrir la demanda eléctrica básica de usuarios residenciales clase C mediante energías renovables”, contiene las correcciones a las observaciones realizadas por los lectores en sesión científica del tribunal.

Latacunga, junio, 06, 2022



.....  
**PhD. Héctor Luis Laurencio Alfonso**

**C.C. 175836725-2**

**Presidente del tribunal**



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI DIRECCIÓN DE  
POSGRADO**

**MAESTRÍA EN ELECTROMECAÁNICA**

**Título:** Diseño de un sistema automático para cubrir la demanda eléctrica básica de usuarios residenciales clase C mediante energías renovables.

**Autor:** Brayan Ivan Guacapiña Simba

**Tutor:** Ing. Freire Martínez Luigi Orlando

**RESUMEN**

El presente trabajo consiste en generar un sistema automático con el cual se pueda trabajar de manera híbrida entre la red eléctrica pública y un sistema de energía renovable utilizando tecnologías modernas de tal manera que se pueda cubrir el consumo eléctrico en el sector residencial de clase C, el proyecto inicia con el análisis de la demanda energética de la vivienda ubicada en el cantón Mejía parroquia de Aloag, obteniendo datos de voltaje, corriente y potencia a través de un analizador de redes por un tiempo de 7 días, la demanda eléctrica diaria tiene un aproximado de 7,5 kW y la demanda mensual de 232 kW, los datos de radiación solar se obtuvo por medio de la estación meteorológica “IZOBAMBA” en el que se constató que el mes de agosto del 2020 se obtuvo la mayor cantidad de radiación solar con  $6,68 \text{ kW/m}^2$ , para desarrollar la automatización se utilizaron equipos electrónicos como microcontroladores, sensores de tensión, relés, contactores, protecciones eléctricas, inversor híbrido y paneles solares, el análisis de la demanda eléctrica en el lugar de estudio da como consecuente que se necesita abastecer 232 kW al mes en la residencia y el sistema fotovoltaico genera un promedio de 350 kW al mes.

**PALABRAS CLAVE:** Radiación solar, fotovoltaico, microcontroladores, relés, contactores

# UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI DIRECCIÓN DE POSGRADO

## MAESTRÍA EN ELECTROMECAÁNICA

**Título:** Design of an automatic system to cover the basic electricity demand of class C residential users through renewable energies.

**Author:** Brayan Ivan Guacapiña Simba

**Tutor:** Ing. Freire Martínez Luigi Orlando

### ABSTRACT

The present work consists in generating an automatic system with which it is possible to work in a hybrid way between the public electrical network and a renewable energy system using modern technologies in such a way that the electrical consumption in the residential sector of class C can be covered, The project begins with the analysis of the energy demand of the house located in Aloag, Mejía; obtaining voltage data, current and power data through a network analyzer for a period of 7 days, the daily electricity demand has an approximately 7.5 kW and the monthly demand of 232 kW, the solar radiation data was obtained through the "IZOBAMBA" meteorological station in which it was found that during August 2020 the highest amount of solar radiation was obtained with 6.68 kW/m<sup>2</sup>, to develop the automation, electronic equipment such as microcontrollers, voltage sensors, relays, contactors, electrical protections, hybrid inverter and solar panels were used, the analysis of the electrical demand in the place of study gives as a consequence that it is necessary to supply 232 kW per month in the residence and the photovoltaic system generates an average of 350 kW per month.

**KEYWORD:** Solar radiation , photovoltaic, microcontrollers, relay,contactors.

Yo, Lic. Luis Vicente Caizaluisa Calahorrano con cédula de ciudadanía número: 171855006-2, Licenciado en: Pedagogía de los idiomas nacionales y extranjeros con número de registro de la SENECYT: 1005-2019-2100154; **CERTIFICO** haber revisado y aprobado la traducción al idioma inglés del resumen del trabajo de investigación con el título: Diseño de un sistema automático para cubrir la demanda eléctrica básica de usuarios residenciales clase C mediante energías renovables. De: Brayan Ivan Guacapiña Simba aspirante a magister en electromecánica.

Latacunga, junio, 06, 2022



Lic. Luis Vicente Caizaluisa Calahorrano  
171855006-2

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

INTRODUCCIÓN .....	1
Planteamiento del problema .....	3
Formulación del problema. ....	5
Objetivo General .....	6
Objetivos Específicos.....	6
Sistemas de tareas en relación a los objetivos específicos.....	6
Justificación.....	8
Hipótesis.....	9
CAPÍTULO 1 .....	10
1.1 Introducción .....	10
1.2 Antecedentes de la investigación o fundamentación del estado del arte .....	10
1.3 Fundamentación teórica .....	12
1.3.1 Parámetros del estudio de demanda para el consumo básico.....	12
1.3.2 Energía renovable.....	15
1.3.3 Futuro de las redes inteligentes .....	22
1.3.4 Instrumentos de medición. ....	25
1.3.5 Programas de simulación .....	26
1.3.6 Fundamentación Legal .....	28
1.4 Descripción del objeto de estudio .....	29
1.5 Conclusiones .....	29
CAPÍTULO 2 .....	31
2. METODOLOGÍA .....	31
2.1 Modalidad de la investigación .....	31
2.1.1 Unidad de estudio.....	32
2.2 Métodos y técnicas .....	32

2.3 Instrumentos de recolección de datos .....	33
2.4 Procedimiento de la Investigación .....	35
2.4.1 Descripción del sitio de estudio. ....	35
2.4.2 Ubicación de la estación meteorológica.....	36
2.4.3 Instrumento para la determinación de la demanda eléctrica residencial.....	36
2.5 Diseño de pre factibilidad .....	37
2.5.1 Proceso de cálculo de número de paneles .....	37
2.5.2 Proceso de cálculo de potencia total generada.....	38
2.5.3 Proceso de cálculo del controlador .....	38
2.5.4 Proceso de cálculo del inversor.....	38
2.5.5 Proceso de cálculo de número de baterías.....	39
2.5.6 Protecciones y actuadores eléctricos .....	39
Proceso de cálculo interruptor termo magnético general.....	39
2.5.7 Proceso para el dimensionamiento de los conductores .....	40
2.6 Software para la simulación del sistema .....	40
2.6.1 Software para el análisis de pre factibilidad mediante el recurso renovable	40
2.6.2 Flujograma de condicionamiento para la automatización.....	41
2.6.3 Software para el análisis de los datos obtenidos .....	41
2.6.4 Software para el acondicionamiento de los elementos a implementarse .....	42
2.7 Conclusiones .....	43
CAPITULO 3 .....	44
3. ANÁLISIS DE RESULTADOS .....	44
3.1 Análisis de la demanda eléctrica residencial.....	44
3.2 Selección del recurso renovable.....	48
3.3 Cálculo para el dimensionamiento del sistema fotovoltaico.....	50
3.3.1 Cálculo de número de paneles.....	50

3.4 Cálculo para el dimensionamiento de los elementos necesarios para la automatización. ....	54
3.5 Análisis de radiación solar y generación fotovoltaica.....	55
3.5.1 Datos de radiación solar y generación fotovoltaica del mes de Junio.....	56
3.5.2 Promedio de datos por hora de radiación solar diarios del mes de Julio .....	58
3.5.3 Promedio de datos por hora de radiación solar diarios del mes de Agosto...61	
3.5.4 Promedio de datos por hora de radiación solar diarios del mes de Septiembre.....	63
3.5.5 Promedio de datos por hora de radiación solar diarios del mes de Octubre .66	
3.5.6 Promedio de datos por hora de radiación solar diarios del mes de Noviembre.....	68
3.6 Simulación del sistema de automatización .....	71
3.6.1 Panel Solar .....	71
3.6.2 Regulador de carga.....	72
3.6.3 Inversor .....	73
3.6.4 Emulador de la red eléctrica.....	74
3.6.5 Switch y consumo de carga.....	75
3.6.6 Modulo programable.....	77
3.7 Esquema eléctrico .....	78
3.8 Modelado 3D del sistema.....	78
3.8 Análisis del presupuesto.....	79
3.8.1 Materiales indirectos .....	80
3.8.2 Materiales directos .....	80
3.8.3 Mano de obra.....	81
3.8.4 Presupuesto total .....	81
3.9 Análisis de impactos .....	82
3.9.1 Impacto económico .....	82

3.9.2 Impacto tecnológico.....	82
3.9.3 Impacto ambiental.....	82
3.10 Conclusiones .....	83
4 Conclusiones generales .....	84
5 Recomendaciones.....	85
Referencias.....	86

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura. 1 Demanda de consumo eléctrico residencial [6].....	13
Figura. 2 Demanda eléctrica residencial en Quito [6].....	14
Figura. 3 Energía renovable [14] .....	23
Figura. 4 Analizador de redes .....	25
Figura. 5 Estación meteorológica automática de IZOBAMBA (INAMHI) .....	34
Figura. 6 Ubicación del lugar de estudio .....	35
Figura. 7 Ubicación de la estación meteorológica de IZOBAMBA .....	36
Figura. 8 Configuración del analizador de redes .....	37
Figura. 9 Software RETSCREEN .....	40
Figura. 10 Flujograma de condiciones del sistema renovable .....	41
Figura. 11 Interfaz de programación .....	42
Figura. 12 Análisis semanal de las variables mediante software .....	42
Figura. 13 Potencia – Tiempo .....	45
Figura. 14 Demanda eléctrica en el lugar de estudio .....	46
Figura. 15 Voltaje – Tiempo .....	47
Figura. 16 Corriente – Tiempo.....	47
Figura. 17 Base de datos de RETSCREEN.....	48
Figura. 18 Perfil de consumo eléctrico diario .....	49
Figura. 19 Radiación - Tiempo (Junio/Diario).....	56
Figura. 20 Comparación de datos - radiación solar.....	57
Figura. 21 Generación - Tiempo (Junio/Diario) .....	58
Figura. 22 Diagrama de comparación .....	58
Figura. 23 Radiación - Tiempo (Julio/Diario) .....	59
Figura. 24 Comparación de datos - radiación solar.....	59
Figura. 25 Generación - Tiempo (Julio/Diario) .....	60
Figura. 26 Diagrama de comparación .....	61
Figura. 27 Radiación - Tiempo (Agosto/Diario).....	61
Figura. 28 Comparación de datos - radiación solar.....	62
Figura. 29 Generación - Tiempo (Agosto/Diario).....	63
Figura. 30 Diagrama de comparación .....	63
Figura. 31 Radiación - Tiempo (Septiembre/Diario) .....	64

Figura. 32 Comparación de datos - radiación solar.....	64
Figura. 33 Generación - Tiempo (Septiembre/Diario).....	65
Figura. 34 Diagrama de comparación .....	66
Figura. 35 Radiación - Tiempo (Octubre/Diario) .....	66
Figura. 36 Comparación de datos - radiación solar.....	67
Figura. 37 Generación - Tiempo (Octubre/Diario) .....	68
Figura. 38 Diagrama de comparación .....	68
Figura. 39 Radiación - Tiempo (Noviembre/Diario) .....	69
Figura. 40 Comparación de datos - radiación solar.....	69
Figura. 41 Generación - Tiempo (Noviembre/Diario) .....	70
Figura. 42 Diagrama de comparación .....	71
Figura. 43 Panel Solar .....	71
Figura. 44 Curvas del Panel Solar.....	72
Figura. 45 Regulador de carga .....	73
Figura. 46 Curvas del Banco de Baterías .....	73
Figura. 47 Curvas del Inversor.....	74
Figura. 48 Emulador de tensión eléctrica.....	75
Figura. 49 Sistema de control .....	75
Figura. 50 Curvas del sistema de acoplamiento.....	76
Figura. 51 Desconexión de a la red eléctrica pública.....	76
Figura. 52 Conexión a la red eléctrica pública.....	77
Figura. 53 Modulo Programable .....	77
Figura. 54 Esquema eléctrico .....	78
Figura. 55 Modelado 3D del sistema .....	79



## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Matriz de operacionalización de variables.....	4
Tabla 2 Sistema de tareas en relación a los objetivos específicos .....	6
Tabla 3 Estratos de consumo .....	15
Tabla 4 Cargos tarifarios.....	15
Tabla 5 Cargas eléctricas .....	46
Tabla 6 Resumen del estudio fotovoltaico.....	49
Tabla 7 Cálculo de la potencia total con perdidas.....	50
Tabla 8 Cálculo del número de paneles solares .....	51
Tabla 9 Cálculo del controlador.....	51
Tabla 10 Cálculo de inversor .....	52
Tabla 11 Cálculo de número de baterías .....	52
Tabla 12 Resumen de cálculo de elementos sistema fotovoltaico .....	53
Tabla 13 Cálculo de elementos de control .....	55
Tabla 14 Materiales indirectos .....	80
Tabla 15 Materiales directos .....	80
Tabla 16 Mano de Obra.....	81
Tabla 17 Presupuesto total .....	81
Tabla 18 Comparación de pago mensual .....	82

# INTRODUCCIÓN

## Antecedentes

Este proyecto de investigación se acoge a la Línea de Energías Alternativas y Renovables, Eficiencia Energética y Protección Ambiental, y a la Sublínea de investigación de Eficiencia Energética en Sistemas Electromecánico y uso de las fuentes Renovables de la Universidad Técnica de Cotopaxi, buscando incrementar el crecimiento en cuanto a la utilización de nuevos métodos para la generación de energía eléctrica renovable que puedan trabajar conjuntamente con la red de distribución eléctrica pública y proporcionar mayor información para los estudios en este campo.

Según la Constitución de la República del Ecuador Sección Octava. Artículo 385 numeral 3 considera:

Que desarrollar tecnologías e innovaciones que impulsen la producción nacional, elevan la eficiencia y productividad, mejoren la calidad de vida son de gran relevancia para el país [1].

En la actualidad se puede observar que la energía eléctrica es indispensable para realizar actividades cotidianas en los hogares, los avances tecnológicos en cuanto a la generación de energía eléctrica mediante fuentes renovables en el Ecuador ha estado en un proceso de crecimiento, estos procesos de avances tecnológicos se han visto limitados en las zonas residenciales ya que para poder acoplar un sistema renovable que trabaje conjuntamente con la red de distribución eléctrica pública se debe realizar la solicitud de un medidor bidireccional los cuales no se encuentran disponibles aun para todas las regiones del país y su tramitación tiende a ser demasiada compleja.

Con el trascurso del tiempo se han generados estudios referentes a la generación de energía eléctrica mediante energías renovables enfocándose en zonas específicas como lo describe Salazar Edgar el cual realizo el diseño de un sistema fotovoltaico ubicado en la ciudad de Latacunga en la Casa #10 del Barrio María, investigando y monitoreando la carga y la radiación solar, la investigación demostró que para el

desarrollo de diseños de sistemas fotovoltaicos conectado a la red se lo puede realizar mediante la implementación de dos paneles fotovoltaicos monocristalinos tipo ZYTECH 230P, con el cual será posible proporcionar el 100% de la demanda energética de "carga en el hogar" en las casas del sector urbano con el consumo energético promedio del sector residencial, "de 08:00 am a 16:00 pm (8 horas de uso de energía solar aprovechable), más 4 horas utilizarán almacenamiento de energía (batería ULTRACELL UCG 150-12) de 16:00 a 20:00, el horario de 20:00 a 21:00 se reduce en un 74%, mediante este diseño para un hogar en el sector urbano de la ciudad de Latacunga se reducirá el costo de facturación de la compañía eléctrica hasta en un 50%, lo que significa que el ahorro económico para la factura de luz de la familia es notorio [2].

Fausto Acuña mediante el empleo de un analizador de calidad eléctrica trifásico 3945-B marca PowerPad (el modelo se instaló de manera continua durante 5 días) logro determinar la demanda actual de un edificio en la parroquia de Belisario Quevedo del Canto Latacunga, obteniendo así una potencia máxima consumo de 115 kW, el consumo de energía mínimo es de 0 kW y el consumo de energía promedio es de 51,33 kW estos datos fueron requeridos para la evaluación del potencial de energía solar en función del consumo energético [3].

Según un estudio realizado por Edison Cevallos en el colegio "Pedro Páez" de la parroquia Eloy Alfaro, la producción anual combinada del sistema híbrido es de 6142,15 kWh. En términos de demanda, esto representa 375% del exceso de instalaciones de producción, que puede extenderse a entornos habitables y pequeñas casas cercanas para su uso [4].

La importancia de realizar este tipo de proyectos es generar los datos necesarios para asegurar la factibilidad de la utilización de energías renovables actualmente en las distintas zonas del país ya que el Ecuador cuenta con un clima y ubicación en el planeta beneficioso para la generación de proyectos de esta índole, aportando al objetivo #5 del Plan Nacional de Desarrollo 2017 -2021 el cual se centra en Impulsar la productividad y competitividad para el crecimiento económico sostenible de manera redistributiva y solidaria [5].

## **Planteamiento del problema**

En el Ecuador el consumo promedio de energía eléctrica de los hogares ecuatorianos a nivel nacional es mayor a 186 kW/h, el área urbana registra el consumo más alto con 263 kW/h según la investigación realizada por el INEC [6]. A medida que la población crece, el consumo eléctrico aumenta con el tiempo, un estudio realizado por CONELEC da a conocer la previsión del consumo eléctrico en el 2022, y se espera que el número total de usuario residenciales mantenga una tendencia creciente en el futuro pero a una menor tasa de crecimiento (una media del 3,9 % de 2013 a 2022 y llegara a 5,5 millones de usuarios)[6].

Un estudio realizado por la Universidad de Cuenca mostro el consumo de energía eléctrica de cada hogar es de 317 kWh/mes como demanda energética media de los clientes que no utilizan ningún tipo de eficiencia energética, y la energía mensual que adopta conceptos de eficiencia energética es de 224 kW/h [7].

Comparar datos obtenidos en el lugar de estudio con datos generales de consumo básico residencial a nivel nacional muestra la existencia de variaciones en cuanto a la demanda eléctrica, por lo cual un estudio determinado en un sector específico genera información útil y necesaria para el diseño de un sistemas renovables los cuales puedan cubrir el consumo eléctrico básico en residencias de clase C.

Para poder implementar un sistema renovable en una vivienda y que éste pueda trabajar conjuntamente con la red eléctrica pública se necesita una amplia investigación, por lo cual existe pasos para aprobar sistemas de éste tipo, una alternativa para poder realizar una adaptación es aguas abajo al medidor de luz mediante un diseño de automatización el cual pueda cubrir la demanda eléctrica básica de usuarios residenciales clase C con el uso de energías renovables englobando una red inteligente que controle la conexión y desconexión del consumo en cuanto la red eléctrica pública y el sistema de energía renovable.

Una red inteligente es aquella que puede integrar de forma eficiente el comportamiento y las acciones de todos los usuarios conectados a ella de tal forma

que se asegure un sistema energético sostenible y eficiente, con bajas pérdidas y altos niveles de calidad y seguridad de suministro [8].

**Tabla 1 Matriz de operacionalización de variables**

<b>Descripción de la variable independiente:</b> Análisis de la curva de demanda eléctrica básica en el sector residencial de clase C				
<b>Concepto</b>	<b>Indicadores</b>	<b>Ítem</b>	<b>Técnicas</b>	<b>Instrumentos</b>
La demanda eléctrica de un sistema es la potencia eléctrica, relativa a un intervalo de tiempo específico, que absorbe su carga para funcionar	Tensión	V	Medición	Analizador de redes
	Corriente	A	Medición	Analizador de redes
	Potencia	W	Medición	Analizador de redes
	Tiempo	min	Medición	Analizador de redes
	Consumo eléctrico	Días	Medición	Analizador de redes
<b>Descripción de la variable Dependiente:</b> Desarrollo de un sistema automático aguas abajo de la acometida mediante energías renovables				
<b>Concepto</b>	<b>Indicadores</b>	<b>Ítem</b>	<b>Técnicas</b>	<b>Instrumentos</b>
Sistema automático que cumpla con una función similar a un medidor bidireccional aguas abajo de la acometida mediante energías renovables	Tensión	V	Medición	Analizador de redes
	Corriente	A	Medición	Analizador de redes
	Potencia	W	Medición	Calculo
	Tiempo	min	Medición	Reloj

<b>Descripción de la variable de Perturbación:</b> Variación de las condiciones climáticas en el puto de estudio			
<b>Indicador</b>	<b>Ítem</b>	<b>Técnica</b>	<b>Instrumento</b>
Condición Climática	Radiación solar	Medición	Estación meteorológica

En la tabla 1 se muestra la matriz de variables de operacionalización la cual contiene como variable independiente al análisis de la curva de demanda eléctrica básica en el sector residencia de clase C y como variable dependiente al desarrollo de un sistema automático aguas abajo de la acometida mediante energías renovables ya que éste debe adecuarse a el requerimiento del consumo eléctrico del usuario residencial.

La investigación por el desarrollo de energía renovable se ha vuelto tendencia en la actualidad un amplio porcentaje de investigaciones se han enfocado en éste tema, los cuales han demostrado la eficiencia del uso de sistemas renovables, sin llegar a duda el uso de estos sistemas para generación de energía traen varios beneficios, para poder obtener un sistema totalmente de autoconsumo se deben realizar un estudio amplio y de esta manera generar una proyección.

En el Ecuador la implementación de estos sistemas renovable para el consumo residencia se ha visto limitado ya que para poder llevar a cabo este tipo de proyectos se debe solicitar un medidor bidireccional el cual permite que el sistema renovable se una a la red eléctrica publica, dichos medidores bidireccionales actualmente no se encuentran disponibles para todos los sector del país y para poder gestionar la adquisición de uno de estos el lugar de estudio debe ser sometido a varios trámites burocráticos lo cual hace de este un problema en la ejecución de este tipo de sistemas renovables.

### **Formulación del problema.**

Limitados estudios de sistemas renovables los cuales operen conjuntamente con la red eléctrica publica aguas debajo de la acometida domiciliaria enfocados a la conmutación automática entre sistemas eléctricos.

## Objetivo General

Diseñar un modelo para cubrir la demanda eléctrica básica de los usuarios residenciales mediante energías renovables en el sector de Aloag ubicada en el Cantón Mejía.

## Objetivos Específicos

- Establecer la curva de demanda básica de consumo eléctrico en el sector residencial de clase C del sector de Aloag.
- Estudiar la fuente de energía renovable utilizada para el modelo del sistema renovable en el sector de Aloag.
- Analizar mediante la simulación del sistema el ahorro energético que este genere en el sector residencial de clase C en el sector de Aloag.

## Sistemas de tareas en relación a los objetivos específicos

La tabla 2 muestra el sistema de tareas en relación a los objetivos específicos.

**Tabla 2 Sistema de tareas en relación a los objetivos específicos**

<b>Objetivos específicos</b>	<b>Actividad</b>	<b>Resultado de la actividad</b>	<b>Métodos-técnicas</b>
<b>Objetivo 1:</b>  ▪ Establecer la curva de demanda básica de consumo eléctrico en las residencias de clase C del sector de Aloag.	<b>a.-</b> Obtención de datos necesario del consumo eléctrico básico en el sector residencial.	• Generación de la curva referente al consumo básico en el sector residencial.	Investigación de campo: Medición.
	<b>b.-</b> Toma de datos de voltaje, corriente y potencia de la residencia.	• Obtención de la potencia necesaria para el autoconsumo.	Investigación de campo: Medición.

<p><b>Objetivo 2:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Estudiar la fuente de energía renovable utilizada para el modelo del sistema renovable en el sector de Aloag.</li> </ul>	<p><b>a.-</b> Medición de los factores ambientales para el modelo del sistema renovable.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Registro de datos.</li> </ul>	<p>Investigación de campo:</p> <p>Medición</p>
	<p><b>b.-</b> Análisis de la fuente de energía renovable ideal para el modelo del sistema renovable.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Creación de una memoria con respecto a los resultados.</li> </ul>	<p>Investigación de campo:</p> <p>Medición</p>
	<p><b>c.-</b> Selección de las variables primordiales para la modelación del sistema.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Elección del sistema renovable ideal.</li> </ul>	<p>Observación de procesos:</p> <p>Selección</p>
<p><b>Objetivo 3:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Analizar mediante la simulación del modelo el ahorro energético y que este genere en las residencias del sector de Aloag.</li> </ul>	<p><b>a.-</b> Simulación del modelo para el sistema renovable.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Verificación del correcto funcionamiento de acuerdo con las variables trabajadas.</li> </ul>	<p>Investigación teórica:</p> <p>Simulación</p>
	<p><b>b.-</b> Comparación de los datos de consumo eléctrico con el modelo de energía renovable.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Comprobación de la factibilidad del sistema renovable.</li> </ul>	<p>Investigación teórica:</p> <p>Simulación</p>
	<p><b>c.-</b> Análisis energético con la aplicación del modelo de energía renovable</p>	<p>Obtención del ahorro energético generado con el modelo simulado.</p>	<p>Investigación teórica:</p> <p>Cálculos</p>



## **Justificación**

La búsqueda de sistemas renovables que ayuden a generar energía eléctrica la cual no sea dependiente de recursos no renovables se ha llevado desarrollando mediante varios años y con un sin número de investigaciones, la factibilidad del usos de este tipo de sistemas que pueden generar un autoconsumo eléctrico se ha demostrado en diferentes estudios realizados, en la actualidad el poder implementar un sistema renovable es tendencia pero aún existen varios pasos que se deben tomar en cuenta para que este sea factible y para el crecimiento de este tipo de proyectos se requiere de investigación y tiempo.

En el Ecuador no se consta con un estudio específico en cuanto se refiere al consumo básico de la demanda eléctrica residencial en consumidores de clase C en el sector de Aloag, los análisis que nos ofrecen las investigación es de un consumo a nivel nacional muy generalizado por lo cual este tipo de análisis genera una base de datos para estudios futuros de manera específica.

Para la implementación de estos sistemas renovables se debe realizar varios trámites burocráticos si se desea trabajar conjuntamente con la red de energía eléctrica pública ya que se debe solicitar un medidor bidireccional los cuales ayudan al registro de consumo entre la energía generada por el sistema autosustentable y la energía entregada por la empresa eléctrica, generando limitantes para la aplicación de estos proyectos, mediante la investigación realizada se dará a conocer una posible solución para la utilización de estos sistemas y de esta manera evitar la tramitación burocrática ya que la finalidad de este estudio es desarrollar un sistema automático el cual pueda realizar un trabajo conjunto entre el sistema renovable y la red eléctrica publica aguas abajo de la acometida, lugar en el cual se puede maniobrar a la disposición del propietario de la residencia sin realizar ninguna tramitación y de esta manera ampliar el margen de proyectos que utilicen energías renovables los cuales generen un autoconsumo eléctrico sustentable.

## **Hipótesis**

El estudio de los parámetros técnicos para el diseño de un sistema automático el cual mediante el uso de energías renovables trabaje conjuntamente con la red eléctrica pública, permitirá ampliar el margen de consumidores que opten por sistemas renovables y generen un autoconsumo evolutivo.

# CAPÍTULO 1

## 1.1 Introducción

Considerando que el artículo 15 de la Constitución de la Republica preceptúa: “Art. 15.- El Estado promoverá, en el sector público y privado, el uso de tecnologías ambientales limpias y de energías alternativas no contaminantes y de bajo impacto. La soberanía energética no se alcanzara en detrimento de la soberanía alimentaria, ni afectara el derecho del agua”, y la Ley Orgánica del Servicio Público de Energía Eléctrica “ establece como prioritario la modernización de las redes eléctricas, tomando en cuenta los aspectos regulatorios, redes de transporte y distribución de energía, redes de comunicación, generación distribuida, almacenamiento de energía, medición inteligente, control distribuido, gestión activa de la demanda y oportunidades de brindar nuevos productos y servicios”.

Este capítulo se desarrollara en base al contexto del problema analizando los diversos criterios en cuanto a los tópicos necesarios para el desarrollo de su solución, recolectando la información teórica necesaria de la situación y los implementos necesarios para el análisis de la parametrización del sistema.

El objetivo de este capítulo es exponer los parámetros necesarios para la implementación de un sistema renovable el cual trabaje conjuntamente con la red eléctrica pública mediante un sistema automático el cual permita el manejo de conexión y desconexión aguas abajo de la acometida con respecto a la generación de energía por el sistema renovable y el abastecimiento de la energía entregada por la empresa eléctrica.

## 1.2 Antecedentes de la investigación o fundamentación del estado del arte

El incremento tecnológico y las nuevas tendencias con respecto al abastecimiento eléctrico mediante el uso de energías renovables se han desarrollado en gran magnitud en los últimos años, de esta manera el sistema de red eléctrico ha ido evolucionando con respecto a las necesidades de los usuarios, sin embargo puede generarse limitantes con respecto a los recursos en una proyección futura.

Para la generación de proyectos los cuales aporten al desarrollo de potenciar las nuevas tecnológicas de generación de energía eléctrica se debe estimar la carga eléctrica en el lugar de estudio, esta puede ser obtenida mediante cálculos para los cuales existen diversos métodos aplicables de manera específica dependiendo el criterio del investigador. Por consiguiente ya que el criterio del experto a cargo influye en un rango considerable y muchos métodos de cálculo contienen bases de datos incompletas con variantes en sus características de comportamiento de carga, exponiendo este punto los diferentes cálculos pueden conducir a estimaciones erróneas o inexactas [9].

Las actuales reformas energéticas se encuentran encaminadas a la reducción del precio medio por consumo de electricidad, el beneficio aumento aún más si los precios de los bienes duraderos bajan o al menos se mantienen. El aumento del consumo eléctrico es directamente proporcional al aumento poblacional y por ende el número de usuarios [10].

El estudio de nuevas fuentes para la generación de energía eléctrica mediante fuentes renovables actualmente ha incrementado, al ser un tema con un gran potencial varias entidades gubernamentales han generado proyectos de apoyo para las pequeñas centrales de generación residenciales, sin embargo las limitantes existentes aún son varias tanto en la estabilidad del recurso renovable para la generación de energía y la complejidad del trámite para su implementación.

Existen vario proyectos en los cuales la participación de nuevas manera de generar energía mediante recursos renovables ha estado en auge, los estudios e implementación de estos proyectos han demostrado la viabilidad de su aplicación, el gran potencial encontrado en la generación mediante sistemas fotovoltaicos es notable el cual en diversos estudios ha dado a conocer que con su utilización se podría cubrir un 65% de la demanda eléctrica, el estudio en cuanto se refiere a nuevos sistema y maneras de generación mediante energías renovables va de la mano con el concientizar a la sociedad en el empleo de estas y el buen usos del consumo energético [11].

La implementación de sistemas híbridos para la generación de energía eléctrica ha demostrado tener un rango alto de eficiencia tanto energético como económico, un estudio realizado en una planta desalinizadora con capacidad de  $50 m^3/\text{día}$  dio a conocer que el sistema de generación eléctrica híbrido en el cual interviene energía solar, eólica y diésel produjo 250 kWh/día [12].

Sin embargo la generación mediante energías renovables también tiene sus problemáticas los cambios en las energías renovables suelen ser grandes: cuando no hay viento, los aerogeneradores dejan de generar electricidad y las células solares no funcionan por la noche. Sin embargo, la red actual no cuenta con suficientes medidas de almacenamiento de energía, lo que dificulta el suministro adecuado de energía a partir de recursos renovables [13].

La ventaja de la nueva generación de contadores electrónicos añade sistemas de comunicación bidireccional lo que hace posible tener un acceso completo e instantáneo a los datos de lectura del contador. También permite realizar la conexión/desconexión remota mediante un relé interno que este tipo de medidores incorpora [14].

### **1.3 Fundamentación teórica**

#### **1.3.1 Parámetros del estudio de demanda para el consumo básico**

El comportamiento de la carga sin duda es una de las variables más difíciles de investigar en una red de distribución eléctrica. Por ejemplo, la alimentación en el sector residencial consiste en el consumo moderado o reducidos (equipos electrónicos, iluminación de alta eficiencia, etc.) y equipos de alto contenido calórico utilizados en la preparación de alimentos; este último es el parámetro lógicamente más influyente en el diagrama de carga [15].

En Ecuador, el gobierno está impulsando cambios energéticos, incluyendo el aumento del uso de energía amigable con el medio ambiente como principal sistema de generación de energía, para ello el regulador CONELEC ha desarrollado diversos incentivos para promover el uso de energías alternativas en el país.

### 1.3.1.1 Carga y demanda eléctrica

En un sistema de distribución de energía eléctrica la carga es la parte terminal de este ya que es la cual va a convertir la energía eléctrica a otro tipo de energía utilizable en un entorno, como lo es al instante de utilizar un motor eléctrico el cual para obtener la energía mecánica utiliza energía eléctrica. En otras palabras se puede considerar una carga eléctrica a todo artefacto el cual necesite de energía eléctrica para su funcionamiento, el registro de este consumo de carga eléctrica con respecto al tiempo se lo denomina demanda eléctrica, este lapso de consumo con respecto al tiempo se lo conoce como intervalo de demanda [16].

### 1.3.1.2 Demanda eléctrica en el Ecuador

Según CONELEC (2011), en su publicación anual "Estadísticas del Sector Eléctrico en Ecuador", la generación de energía instalada en el país es de 4.838,16 MW, de los cuales 2.303,01 MW son energías renovables, lo que equivale al 47,60% del total actual. De los 2.207,17 MW generados a partir de energías renovables, la energía hidroeléctrica representó el 45,62%, la biomasa 93,4 MW, el 1,93%, la energía eólica 2,4 MW, equivalente al 0,05%, casi 0, la energía solar 04 MW, equivalente al 0,001% [6].

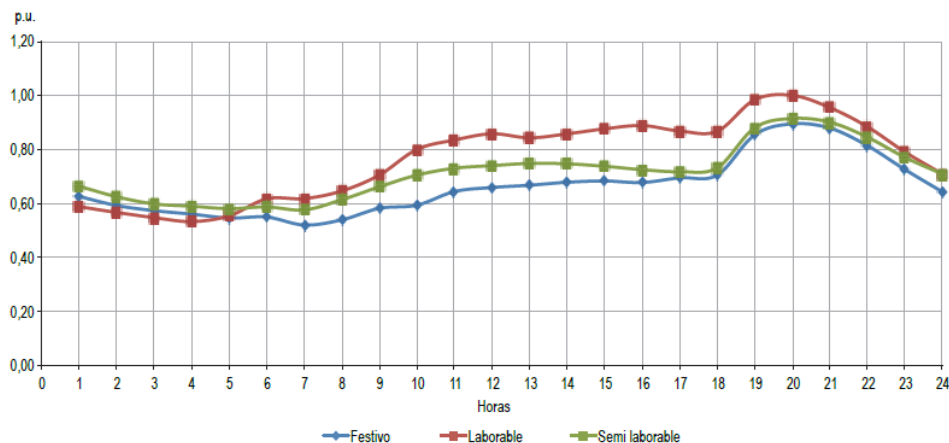
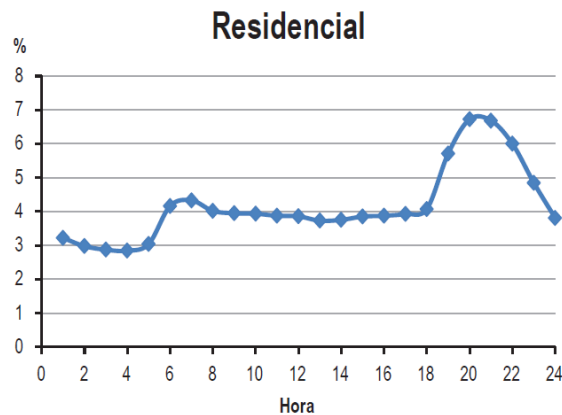


Figura. 1 Demanda promedio de consumo eléctrico residencial [6]

En la figura 1 se puede observar que las demandas en días laborables y festivos han mantenido un comportamiento similar, La curva de medio día hábil se encuentra en el medio de las dos curvas. Además, se muestra que en los días laborables y los días

festivos la mayor demanda de consumo eléctrico es a las 20:00 y la jornada laboral es un 10% superior a la demanda anterior.



**Figura. 2 Demanda promedio eléctrica residencial en Quito [6]**

Para estudiar la curva de demanda básica residencia, se resalta los parámetros de la Regulación No 004/01 propuesto por CONELEC, donde en el apartado 2.1.2 sobre la medición de la calidad del producto establece, que la calidad de la tensión se refiere al cambio en el valor efectivo (rms) medido cada 10 minutos en relación con la calidad del producto y sugiere que se deben registrar diferentes niveles de determinación de voltaje nominal en cada punto de medición por no menos de 7 días consecutivos, con un intervalo de medición de 10 minutos, y entre los usuarios de bajo voltaje en el área de concesión, el valor registrado debe ser 0.01 por ciento del total [17].

### **1.3.1.3 Características del Consumo de Energía**

El consumo de energía se debe a la forma de utilización de los aparatos eléctricos durante el día, así como también el número de aparatos eléctricos que se encuentran en cada lugar de vivienda, y de eso depende el incremento o disminución del consumo de energía eléctrica.

En la actualidad los aparatos eléctricos son de una mayor eficiencia porque su tecnología es más avanzada y hacen que el consumo de energía sea menor.

### **1.3.1.4 Clasificación de los consumidores por Estratos**

La clasificación de consumidores de energía eléctrica en el campo residencial del área de concesión de la EEQ. S.A., se clasifican en 5 estratos de consumo, en la

tabla 3 de clasificación de consumidores por estratos se muestra los usuarios por su máximo coincidencia de consumo.

**Tabla 3 Estratos de consumo**

<b>Categoría de Estrato de consumo</b>	<b>Escala de Consumo (kWh/mes/cliente)</b>
E	0-100
D	101-150
C	151-250
B	251-350
A	351-500

### **1.3.1.5 Cargos tarifarios**

En la tabla 4 se muestran los cargos tarifarios con respecto al consumo eléctrico de categoría residencial, dichos cargos tarifarios varían de acorde al nivel de consumo.

**Tabla 4 Cargos tarifarios**

<b>Rango de consumo</b>	<b>Energía (USD kWh)</b>
<b>Categoría</b>	<b>Residencial</b>
<b>Nivel de Voltaje</b>	<b>Bajo y medio voltaje</b>
1-50	0.078
51-100	0.081
101-150	0.083
151-200	0.097
201-250	0.099
251-300	0.101
301-350	0.103
351-500	0.105

### **1.3.2 Energía renovable**

Realizando una aproximación de lo que significa la Energía Renovable, donde la característica de renovable en una fuente de energía que no solo depende de su naturaleza (mareomotriz, geológica, eólica, hídrica o térmica, etc.), sino especialmente de su buen uso; para que perdure en el tiempo con la misma calidad



con que se generó desde su origen. Los recursos energéticos renovables comprenden aquellos bienes en constante renovación a causa de la presencia de fuerzas físicas como: marea, viento, agua, gradientes térmicos en el océano, calor geotérmico, aportación solar directa, o la generación de materia vegetal y animal [18].

### **1.3.2.1 Fuentes de energía renovable**

**Energía Solar.-** La radiación que emite el sol hacia la tierra es considerada energía solar renovable, ya que esta se genera de una fuente natural e inagotable, en este caso el sol, la generación de energía renovable mediante este tipo de recurso renovable se da con el uso de celdas solares las cuales están integradas en un panel solar el cual se encarga de captar esta energía y así poder utilizarla [19].

**Energía Eólica.-** La energía eólica es una de las más antiguas que existe ya que el ser humano la utilizaba hace miles de años la cual es muy aprovechada actualmente en diversos campos como lo es en la generación de energía eléctrica en la cual aprovechando la velocidad del viento mediante aerogeneradores es capaz de convertir esta energía renovable en electricidad [20].

**Biomasa.-** La biomasa es la fuente energética más utilizada por los seres humanos, esta fuente energética está constituida por toda la materia orgánica que pueda generar energía y tiene varios usos entre estos el aprovechamiento para la producción de energía térmica, biocombustibles, biogás y de energía eléctrica, para dicha producción su finalidad es conseguir combustible este es útil tanto para aplicaciones térmicas y para suministro eléctrico [21].

**Energía Geotérmica.-** Esta energía se encuentra dentro de los recursos renovable ya que esta aprovecha el calor generado por el subsuelo, su principal uso es para aplicaciones terminas tanto en el sector industrial como residencia, cuando se tiene un recurso geotérmico de alta temperatura (superiores a los 100-150 °C) este es utilizado para la generación de energía eléctrica [22].

**Hidroelectricidad.-** Para el uso de un recurso hídrico se debe identificar si este es consumible o no consumible, en el primer caso es el prevenir el uso posterior del agua y generar contaminación y mediante el uso no consumible del agua se puede

generar la producción de hidroelectricidad su finalidad es la utilización del recurso hídrico generado por los caudales en ríos para la producción de energía eléctrica [23].

### **1.3.2.2 Ventajas y desventajas de las energías renovables.**

#### **Ventajas del uso de energías renovables**

- La producción de energía se da de manera mucho más sostenible la cual no emite gases de efecto invernadero y no produce residuos peligrosos.
- La energía renovable se puede implementar en casi cualquier escala y es la más adecuada para la producción y el consumo de energía descentralizados.
- El costo marginal de las energías renovables es casi nulo, algunas de estas fuentes de energía, como la solar y la eólica, reducirán sus costos en casi un 20% cada vez que se duplique la capacidad instalada global.
- A diferencia de los combustibles fósiles que se concentran en ubicaciones geográficas específicas, la mayoría de los países pueden obtener recursos renovables de una forma u otra.
- Ayudan a reducir las enfermedades relacionadas con la contaminación.
- Reducen la necesidad de industrias extractivas en la medida que se evita el uso de combustibles fósiles [24].

#### **Desventajas del uso de energías renovables**

- Para su implementación es necesaria una inversión inicial representativa.
- Las energías renovables dependen totalmente de los cambios climáticos y fenómenos atmosféricos.
- El espacio para su implementación es uno de los factores que hace del uso de energías renovables poco usados ya que esta necesita de un amplio espacio para su instalación.
- El empleo de algunas de estas energías renovables alteran de gran manera el paisaje o el entorno con su implementación [25].

### **1.3.2.3 Elementos necesarios para la generación de energía eléctrica mediante recursos renovables**

Para la producción de energía eléctrica mediante recursos renovables se debe realizar un estudio adecuado en el cual se identifique el recurso renovable apto para su uso y de esta manera dimensionar los diversos implementos a utilizarse, los cuales se detallaran a continuación:

**Receptor de energía renovable:** El avance tecnológico en cuanto a nuevos métodos de generación de energía se han incrementado con el pasar del tiempo, aprovechar los diversos recursos naturales y reutilizables se ha facilitado con la creación de receptores y centrales de conversión que puedan aprovechar la materia prima renovable, entre estos tenemos:

**Aerogeneradores:** Los aerogeneradores son aquellos capaces generar energía eléctrica mediante el empleo de la energía cinética del viento y está en una segunda instancia a energía mecánica. Los aerogeneradores no son más que versiones ampliadas y mejoradas de antiguos molinos de viento, las palas de un aerogenerador giran de 13 a 20 revoluciones por minuto. Según su tecnología, funcionará a velocidad constante o variable porque la velocidad del rotor cambia según la velocidad del viento en el momento para lograr una mayor eficiencia en la obtención energía [30].

Existen diversos tipos de aerogeneradores entre estos: Aerogeneradores de eje vertical los cuales tienen palas que rotan en torno a un eje vertical, sus ventajas es que no necesitan de un sistema de orientación para captar la energía del viento y se acopla fácilmente al resto de elementos para la generación de energía eléctrica [31], mientras que los aerogeneradores de eje horizontal son denominados de esta manera ya que se encuentran paralelo tanto el eje de rotación y la dirección del flujo de aire y el suelo, toda la energía entregada a la red eléctrica publica se ha generado mediante el empleo de este tipo de generadores [32].

**Centrales de biomasa:** Este tipo de centrales son diseñadas para generar energía eléctrica con el uso de biomasa, este proceso de generación puede ser tanto por combustión o gasificación.

**Turbinas hidráulicas:** Se consideran maquinas que con el uso de la energía de un fluido como lo es el agua se puede transformar en energía mecánica de rotación, el aprovechar esta energía generada por un fluido se puede dar con el uso de la misma corriente del agua y mediante la caída en un salto de agua [33].

Existen varios tipos de turbinas las cuales su diseño y materiales están destinadas a un uso específico: La turbina Pelton consta de una rueda (impulsor o rotor) con una cuchara en su periferia, estas cucharas están diseñadas específicamente para convertir la energía hidráulica del chorro de agua que golpea la cuchara [34], las turbinas Francis son de las más utilizadas en el campo de generación eléctrica hidráulica, es una turbo máquina que reacciona a un flujo mixto, estas soportan una amplia variación tanto de caída del fluido y caudales, capas de operar a grandes desniveles superiores a dos metros de altura [35], mientras que las turbinas Kaplan caracteriza por sus amplias alabes las cuales son impulsadas por una alta presión de agua liberada desde una compuerta, trabajan como una hélice de barco a saltos de baja altura y grandes caudales [36].

### **Elementos de un sistema fotovoltaico**

**Paneles solares:** Los paneles solares son de los elementos principales en un sistema de generación que utilizan como recurso natural principal la energía del sol también son llamados como módulos solares y pueden aprovechar tanto la energía por radiación solar como la térmica, su funcionamiento principal es aprovechar la energía solar. En cuanto a la producción de energía eléctrica se opta por la utilización de paneles fotovoltaicos estos convierten la radiación solar en energía eléctrica y para la generación de energía solar térmica se emplean colectores solares, dichos colectores elevan la temperatura de un fluido gracias a el recurso solar [26].

En el mercado existen diversos paneles solares los cuales están diseñados para entornos de trabajo estandarizados como lo son: Paneles monocristalinos son caracterizados por su coloración azul oscura en ocasiones gris o negra con un mejor enfoque en estas se pueden observar bordes redondeados de las celdas solares, su principal componente es el silicio monocristalino y debida a el empleo de cristales altamente puros estos paneles presentan mayor rendimiento en

comparación a los policristalinos [27], paneles policristalinos su principal característica su menor costo en el mercado en comparación a los monocristalinos sin embargo su rendimiento es menor, su materia prima de fabricación es el silicio sin embargo la fabricación de las celdas solares en comparación con los monocristalino es distinta, son utilizados principalmente en instalaciones industriales ya que su adquisición es más económica, en cambio para instalaciones fotovoltaicas residencia estos no son tan recomendables [28], mientras que los paneles de película delgada son totalmente diferentes a los paneles solares monocristalinos y policristalinos, estos son de color negro, sin contornos de silicio material que se ven en los paneles solares cristalinos, por lo general los paneles de película delgada son ligeros y flexibles, son ampliamente utilizados en el campo industrial y doméstico [29].

**Regulador de carga:** Este dispositivo es el encargado de dirigir y controlar la energía que circula entre las baterías y el modulo generador, ayudando a evitar sobrecargas y sobredescargas, existen diversos tipos de reguladores de carga y su correcta selección beneficia a una vida prolongada de los elementos de un sistema de generación mediante energías renovables [37].

Los controladores PWM y controladores de carga MPPT se los puede encontrar disponibles en el mercado en diversas marcas y con diversas características, estos tiene características que los distinguen uno de otro y su selección depende la aplicación y el entorno en el que se los utilice, el regulador de carga PWM es de los primeros en aparecer en el mercado el cual consta únicamente con un diodo en su interior lo cual produce que los paneles y las baterías funcione al mismo nivel de tensión mediante una modulación por anchura de pulsos (Pulse Width Modulation) de ahí su abreviación PWM, este tipo de regulador por lo general provocan una pérdida de potencia entre el 25 y 30 % al hacer que los paneles no trabajen en su máximo punto de generación y estos se acoplen a las necesidades de las baterías [38], en cuanto el regulador de carga MPPT consta de un controlador de punto de máxima potencia en inglés Maximum Power Point Tracking de ahí sus siglas MPPT y un transformador de corriente continua, mediante estos mecanismos este regulador de carga permite obtener la máxima potencia de generación en cada momento optimizando todo el sistema [39].

**Inversor:** El trabajo que realiza un inversor es el transformar un voltaje de corriente continua a un voltaje de salida de corriente alterna con la magnitud y frecuencia deseada por el usuario, este tipo de dispositivos es muy utilizado en sistemas de generación de energía mediante recursos renovables, por ejemplo en un sistema solar para transformar la energía continua generada por los paneles solares en alterna que pueda ser consumida por el usuario [26].

**Baterías:** de denomina baterías a los dispositivos encargados de la acumulación de energía en este caso para un sistema generados de energía eléctrica mediante energías renovables es el encargado del almacenamiento energético el cual suministrara energía independientemente de la producción del sistema [40].

### **Elementos de protección del sistema**

#### **Interruptor termo magnético general**

Este elemento también conocido como breaker es de los más importantes en una instalación eléctrica ya que mediante este se brinda una protección al sistema, siendo así un elemento el cual se desactiva de manera automática cortando el paso de corriente en el sistema.

#### **Relé y Contactor**

La definición de un relé es básicamente la de un accionado eléctrico el cual permite el paso de la corriente eléctrica cuando está cerrado e impide su circulación en cuanto esté este abierto, mientras que un contactor es un dispositivo eléctrico que sirve para accionar diversos sistemas de potencia con una señal de voltaje muy baja.

#### **1.3.2.4 Criterios para la implementación de un sistema renovable.**

Para la implementación de un sistema renovable mediante energía fotovoltaica se toma en cuenta los criterios de la Resolución Nro. 03/18 del ARCONEL en la cual establece las siguientes condiciones necesarias:

- Las condiciones técnicas para la instalación de sistemas fotovoltaicos hasta 300 kW de capacidad nominal instalada para consumidores

residenciales y de hasta 1000 kW de consumidores comerciales o industriales.

- Los requisitos y procedimientos para la conexión a las redes de la empresa distribuidora y la autorización de la instalación y operación del uSFV.
- La operación en sincronismo con la red de distribución.
- El tratamiento comercial de la energía producida, de la energía consumida y eventuales excedentes de generación entregados al sistema de distribución [41].

### **1.3.2.5 Estudios de condiciones climáticas**

El Ecuador se encuentra ubicado en una posición favorable para la utilización de energías renovables en especial de la energía solar ya que la duración de los días es similar en todo el año obteniendo como resultado 12 horas de luz cada día y 4.3 hora solar pico, la reducción de temperatura media anual en el país tiene una variación máxima de 3° C entre mes esto debido a que la radiación solar recibida en el país es constante principalmente en el área suroeste [42].

### **1.3.3 Futuro de las redes inteligentes**

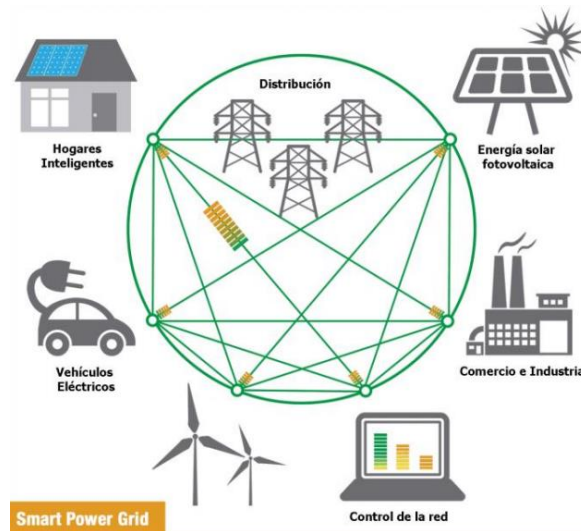
Uno de los retos de los países en desarrollo es la actualización de su sistema eléctrico: el sistema eléctrico es muy pequeño con una deficiente calidad de suministro y frecuentes interrupciones y, a la vez, existe un enorme crecimiento de la demanda en zonas que ya cuentan con conexión a la red.

En la actualidad el incremento de sistemas de generación de energía eléctrica mediante recursos renovables ha ido incrementando y refinándose, por lo cual en la red eléctrica en un futuro deberá adecuarse para trabajar conjuntamente con estos sistemas de energías como son hidráulicos, eólicos, mareomotrices, solar y biomasa. Lo cual significa una adaptación de la red eléctrica con estas nuevas fuentes de generación de energía y de esta manera brindar un servicio eficiente.

La magnitud de la generación futura a partir de la energía renovable y su cuota global es difícil predecir, ya que depende en gran magnitud del clima político.

### 1.3.3.1 Smart grid o red inteligente

Red eléctrica auto-monitoreada, que acepta diferentes fuentes de energía (gas, diésel, renovables) y la transmite al consumidor con mínima intervención del operador. Un sistema que permita a la sociedad optimizar el uso de las fuentes de energía renovable y minimizar el impacto ambiental en el futuro.



**Figura. 3 Energía renovable [14]**

Smart Grid o red inteligente constituye un sistema que integra innovadoras vías de transporte y distribución de electricidad con tecnología digital permitiendo una comunicación en tiempo real entre el consumidor, el distribuidor, el transportista y el generador, mediante dispositivos que hacen más eficiente y sostenible el consumo energético, facilitando a cada uno de estos agentes, la forma de operar en un libre mercado de intercambio de electricidad [14].

Aunque muchos estudios sobre energías renovables se han llevado a cabo para explorar fuentes adicionales de energía limpia, la integración de las dichas fuentes en el sistema eléctrico son uno de los retos en la modernización de la red eléctrica y en el desarrollo de las SG, debido a que algunas redes ya están muy congestionadas y el poder de movimiento de los parques eólicos a la red puede ser difícil. No obstante, las fuentes de energía renovables son intermitentes e inherentemente variables. Tradicionalmente, la electricidad ha fluido de una manera, de una central eléctrica a un cliente; ahora que al implementar fuentes adicionales procedentes de fuentes alternativas, la electricidad tiene que entrar en



la red desde múltiples ubicaciones, lo cual demanda una arquitectura tecnológica basada en: la automatización de la red y un óptimo flujo de energía bidireccional. Es así como los controles modernos son necesarios para llevar viento, energía solar y otras fuentes alternativas a la red de distribución y trasladarla a sus destinos. Por consiguiente, se necesitan esfuerzos coordinados para adaptar la energía solar fotovoltaica y la energía eólica a los nuevos dispositivos en los sistemas de las redes inteligentes, por lo que estos últimos deben ser capaces de integrarse con los equipos existentes y disponer de herramientas informáticas para analizar la integración de las energías renovables en los sistemas energéticos [43].

### **1.3.3.2 Medidores bidireccionales**

Este tipo de medidor tiene la capacidad de diferenciar entre la Energía que CFE (Comisión Federal de Electricidad) nos suministra y la Energía que entregan los Paneles Solares cuando no es consumida en su totalidad por el mismo usuario.

El medidor bidireccional en cualquier proyecto de Energía Renovable es un componente básico. Cuando pensamos en ahorrar en el pago de electricidad el medidor bidireccional va a ser en el encargo de realizarlo.

Si antes de instalar su sistema fotovoltaico se cuenta con un medidor electrónico no es recomendable dejar funcionando el sistema de paneles solares antes de contar con el medidor bidireccional. La razón es que ese medidor no puede diferenciar entre la energía entregada por CFE al usuario y la energía que se abona a través de las Celdas Solares por lo cual se estarán cobrando ambas [44].

La potencia permitida en consumidores residenciales es de hasta 300 kW de capacidad nominal instalada y para consumidores comerciales o industriales hasta menos de 1000 kW. El proceso inicia con una solicitud de factibilidad que el usuario presenta en la EEQ, se revisan requisitos, se modela y se analizan aspectos técnicos; luego se traslada para aprobación de la Agencia de Regulación y Control de Electricidad, ARCONEL. Una vez aprobada la solicitud, la EEQ procede a la revisión del sistema, la instalación de un medidor bidireccional y la firma de un nuevo contrato [45].

### 1.3.4 Instrumentos de medición.

Para la obtención de los datos necesario para la validación de las mediciones se utilizara dos herramienta fundamentales para el análisis de carga en la red eléctrica de consumo residencial y para las condiciones climatológicas.

#### 1.3.4.1 Analizador de redes

Mediante la utilización de un analizador de redes se puede generar el estudio del consumo eléctrico residencia y de esta manera generar una curva la cual ayude a visualizar las condiciones de consumo.

Un analizador de redes eléctricas, también denominados registradores de red, en una herramienta indispensable como soporte los siguientes análisis:

- Estudios de carga. permite verificar la capacidad de la red eléctrico antes de agregar nuevas cargas, o bien, para ajustar la potencia de su suministro. Posibilita también conocer el factor de utilización de un equipo o subsistema.
- Evaluaciones de energía – posibilita conocer el consumo de energía antes y después de realizar mejoras en su instalación, para medir y verificar el ahorro de energía obtenido.
- Captura de sucesos de voltaje – monitorice la existencia de huecos de voltaje y sobretensiones que causan restablecimientos espurios o activación inexplicada de disyuntores [46].



Figura. 4 Analizador de redes

#### 1.3.4.2 Estación meteorológica

Para la obtención de los datos meteorológicos existen diversas plataformas las cuales monitorean los datos de condiciones climáticas en tiempo real, para la obtención de datos de esta índole se utilizara los obtenidos mediante el instituto de meteorología e hidrología (INAMI).

#### Componentes de la estación meteorológica

Está compuesto por:

- Colector de lluvia
- Cubierta resistente a la intemperie
- Protector contra radiación
- Sensores de temperatura y humedad
- Veleta de dirección del viento
- Anemómetro

**Colector de lluvia:** Cuchara medidora de vaciado automático que mide la lluvia con resolución de 0.01" (0.2 mm). Cumple con todos los lineamientos de área de recolección establecidos por la Organización Meteorológica Mundial [11].

**Anemómetro:** Registra velocidades de viento desde 2 mph (3km/h) hasta 180 mph (290km/h). Incluye sensores de velocidad y dirección del viento. Los robustos componentes resisten vientos con la fuerza de un huracán, pero son sensibles a las brisas más tenues [12].

**Sensores de tempera y humedad relativa:** Localizados dentro del protector contra radiación, que protege a los sensores de la radiación solar y de otras fuentes de calor radiado y reflejado. Proveen lecturas de temperatura al aire libre de 40°F a 150°F (40°C a 65°C). También mide la humedad relativa del 0% al 100% [13].

#### 1.3.5 Programas de simulación

Para llevar a cabo el desarrollo de la modelación y simulación se opta por utilizar diversos software para la obtención de datos y dimensionamiento del sistema.

### **1.3.5.1 Matlab**

MATLAB es un programa computacional que ejecuta una gran variedad de operaciones y tareas matemáticas. Es una herramienta poderosa, y puede manejar los cálculos involucrados en problemas de ingeniería y ciencia. Su nombre significa «MATrix LABoratory» (laboratorio de matrices) y fue diseñado en un principio para trabajar con vectores y matrices. Ya hoy abarca muchísimo más. Como MATLAB es el programa más dominante del mundo técnico, muchos ingenieros y científicos requieren manejarlo para poder desempeñarse bien en sus nuevos puestos de trabajo.

MATLAB puede ser usado para resolver un gran abanico de problemas técnicos relacionados con matemática, desde la evaluación de una simple función hasta la resolución numérica de sistemas de ecuaciones diferenciales parciales, por ejemplo. También puede resolver problemas simbólicos y presentar los resultados de forma agradable y visual de manera que los resultados obtenidos sea más fáciles de comunicar a otros colaboradores que no trabajen directamente con la ingeniería de los problemas prácticos [47].

### **1.3.5.2 Volver a pantalla**

Desarrollado por National Resources Canadá, es una herramienta de software de análisis de proyectos de energía limpia basada en Excel que ayuda a los tomadores de decisiones a determinar de manera rápida y económica la viabilidad técnica y financiera de posibles proyectos de energía renovable, eficiencia energética y cogeneración.

Programa gratuito que consiste en una hoja de cálculo habilitada para macros que tiene todas las fórmulas para calcular varios tipos de fuentes de energía, incluida la energía solar fotovoltaica, y permite al usuario calcular la generación de energía fotovoltaica en función de la ubicación, realizar análisis de costos y determinar la viabilidad del proyecto. Bueno para los estudiantes y una herramienta útil para aquellos que deseen analizar la inversión y el rendimiento de un proyecto de energía solar fotovoltaica en una etapa temprana. No tiene ningún análisis de sombreado ni función de informes.

Bastante fácil de usar, ya que es una hoja de cálculo de Excel normal a la que la mayoría de los usuarios están acostumbrados y tiene macros habilitadas con opciones para elegir de listas desplegables. No hay mucho margen para modificar estos valores y porcentajes.

Viene cargado con datos meteorológicos históricos de la base de datos de la NASA que cubre las principales ciudades del mundo. No hay posibilidad de agregar otras fuentes de datos o datos personalizados [48].

### **1.3.6 Fundamentación Legal**

En los últimos años, en el Ecuador se han dado varios cambios significativos a nivel legislativo y regulatorio, como fue en el 2008, la aprobación de la nueva Constitución, que posee varios artículos que beneficia a la investigación, entre los más destacados tenemos:

Art. 15.- El Estado promoverá, en el sector público y privado, el uso de tecnologías ambientalmente limpias y de energías alternativas no contaminantes y de bajo impacto. La soberanía energética no se alcanzará en detrimento de la soberanía alimentaria, ni afectará el derecho al agua.

Art. 313.- El Estado se reserva el derecho de administrar, regular, controlar y gestionar los sectores estratégicos, de conformidad con los principios de sostenibilidad ambiental, precaución, prevención y eficiencia. Se consideran sectores estratégicos la energía en todas sus formas, las telecomunicaciones, los recursos naturales no renovables, el transporte y la refinación de hidrocarburos, la biodiversidad y el patrimonio genético, el espectro radioeléctrico, el agua, y los demás que determine la ley.

Art. 314.- El Estado será responsable de la provisión de servicios públicos de agua potable y riego, saneamiento, energía eléctrica, telecomunicaciones, vialidad, infraestructuras portuarias y aeroportuarias y los demás que determine la ley.

Art. 413.- 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

instrumento con el cual el Gobierno Nacional articula las políticas públicas con la gestión y la inversión pública, denominado “Plan Nacional para el Buen Vivir”, cuenta con 12 estrategias y objetivos nacionales, de los cuales se puede destacar: Estrategia.- La producción, transferencia y consumo de energía debe orientarse radicalmente a ser ambientalmente sostenible a través del fomento de energías renovables y eficiencia energética.

Política 4.3.- Diversificar la matriz energética nacional, promoviendo la eficiencia y una mayor participación de energías renovables sostenibles. También hay que destacar, la creación del Ministerio de Electricidad y Energías Renovables MEER, con lo cual se evidencia el interés del gobierno en las energías renovables.

Ley de Regulación del Sector Eléctrico (LRSE).- Esta ley contiene normas relacionadas con la estructura del sector eléctrico y de su funcionamiento. En el capítulo IX se fomenta el desarrollo y uso de recursos energéticos no convencionales. Se establece este tipo de recurso energético como prioritario a la hora de asignar los recursos del Fondo de Electrificación Rural Urbano Marginal (FERUM) a proyectos de electrificación rural.

#### **1.4 Descripción del objeto de estudio**

La recopilación de información da a conocer los parámetros para el diseño del sistema automático para cubrir la demanda eléctrica básica de usuarios residenciales clase C mediante energías renovables, el cual se centra en la simulación de un sistema de automatización aguas abajo de la acometida eléctrica el cual facilite la implementación de sistemas renovables reduciendo los trámites burocráticos para el trabajo conjunto con la red eléctrica pública, la factibilidad de este proyecto será demostrado con el estudio de la demanda básica en el sector de Aloag – cantón Mejía, los análisis con respecto a la situación meteorológica para el lugar de estudio.

#### **1.5 Conclusiones**

- El gobierno nacional mediante leyes y regulaciones está fomentando el desarrollo y uso de recursos energéticos no convencionales, establece

precios preferenciales como incentivo a instituciones o entidades que generen electricidad mediante energías alternativas.

- Para el análisis y obtención de datos con respecto al consumo eléctrico residencia de consumidores de clase C se debe tomar como parámetros de medición según la CONELEC intervalos de 10 minutos por un periodo no inferior de 7 días continuos y el análisis del 0.01 % del total.
- El software de simulación son una herramienta de gran apoyo para el campo de investigación ya que mediante estas se puede realizar una proyección y evaluación del proyecto antes de su ejecución lo cual genera varios beneficios como un ahorro en inversiones innecesarias.

## CAPÍTULO 2

### 2. METODOLOGÍA

El presente capítulo trata del tipo de metodología que se empleó para el desarrollo del tema investigativo, procesos de dimensionamiento y elementos utilizados para la recopilación de información, de esta manera determinar la eficiencia de la fuente de energía renovable y la demanda eléctrica del consumo residencial para el lugar de estudio.

Además se señala que la recopilación de información para el análisis de factibilidad del proyecto se ejecutó con recursos propios, con el objetivo de evaluar el recurso renovable y la curva de demanda eléctrica en la residencia.

#### 2.1 Modalidad de la investigación

El proceso para el desarrollo de la presente investigación se orientó al modelo de campo y teórico, ya que se utilizó información ya existente como el atlas solar y mapas afines de generación eléctrica en el país las cuales son necesarias para la toma de decisiones, mediante la estación meteorológica de IZOBAMBA se obtendrá los datos complementarios con respecto a los parámetros meteorológicos los cuales son de gran aporte para la elección en cuanto al sistema con mayor eficiencia de trabajo, de igual manera justificar mediante esta la información necesaria de los datos recopilados del estudio de demanda eléctrica residencial.

Para el estudio con respecto a la demanda de consumo eléctrico residencial se realizó mediante investigación de campo con el uso de un analizador de redes el cual ayuda a determinar cómo es el comportamiento de una carga con respecto al tiempo, mediante el empleo de una estación meteorológica se analiza la eficiencia del recurso renovable en el sitio de estudio.

En el diseño de un sistema automático para cubrir la demanda eléctrica básica de usuarios residenciales clase C mediante energías renovables se plantea el siguiente escenario en base a el estudio a ser realizado, utilizando el analizador de redes se determinara el consumo básico de la residencial el cual está conectado a la red



eléctrica pública, parte de este consumo eléctrico deberá ser suministrado por el sistema de generación mediante energías renovable.

### **2.1.1 Unidad de estudio**

En cuanto a determinar el sector al que va dirigida la investigación, se denomina como población a un referente de grupo de personas las cuales se sitúan en un lugar determinado, incluso permite referenciarse a los espacios y edificaciones de una localidad [5]. Por otra parte se puede clasificar la población en varios tipos por sus condiciones como lo es la población rural la cual aplica a la población de las zonas no urbanizadas que se dedican a la producción primaria, ya sea de productos agrícolas como de productos ganaderos y población urbana la cual se caracteriza por vivir en la ciudades ya industrializadas que poseen una infraestructura de gran o mediana escala y las actividades económicas, mano de obra las han hecho zonas en aumento de migración [1] [4]. Para la investigación se puede someter al estudio a una muestra la cual es un subconjunto del universo o población, existen varios métodos para determinarla como por ejemplo mediante fórmulas [6].

Mediante las definiciones bibliográficas se puede identificar que para el desarrollo del sistema automático para cubrir la demanda eléctrica básica residencial mediante energías renovables se puede utilizar una muestra de la población del sector de estudio Aloag cantón Mejía.

### **2.2 Métodos y técnicas**

En la actualidad con el empleo de los avances tecnológicos y recursos que se han generado existen varias herramientas para dar inicio a una investigación la cual genere la información necesaria para implementar un sistema renovable como lo es la utilización para la simulación de diseños de pre factibilidad, en este caso se utilizó el software RETSCREEN y PVSyst los cuales ofrece datos de uso libre obtenidos por estaciones meteorológicas cercanas y datos satelitales. Esta herramienta genera opciones para la selección del mejor recurso renovable el cual puede ser utilizado en el lugar de implementación.

Sin embargo estos datos aún tienen un porcentaje de error por lo cual para obtener un sistema más óptimo se realizó el empleo de una estación meteorológica con un

rango de proximidad menor a 10 Km al lugar de estudio, así para la obtención de datos en cuanto a la fuente de energía renovable adecuada en el sitio de estudio se realizó con la estación meteorológica de IZOBAMBA la cual se encuentra ubicada a 9.39 Km del sitio de estudio en el sector de Cutuglahua de las instalaciones del INAMHI, para definir el consumo diario de la residencia se empleó un analizador de redes el cual realizó el monitoreo de la demanda eléctrica.

Con la obtención de los datos meteorológicos y de demanda eléctrica en el lugar de estudio se realizó gráficas para el análisis de las variables que intervienen en la automatización del sistema.

Se utiliza software de simulación para generar la interfaz de automatización entre el sistema renovable y la red eléctrica pública el cual con el monitoreo de voltajes medidos en el sistema renovable condicionara para que se pueda dar paso al funcionamiento de la automatización requerida.

### **2.3 Instrumentos de recolección de datos**

Para la evaluación del potencial energético de las fuentes de energías renovables del lugar de estudio se realizó tanto una investigación de campo como teórica ya que la información que se utilizó fue mediante la observación de datos generados por la estación meteorológica de IZOBAMBA (INAMHI), trabajos de campo, atlas y mapas solares los cuales cumplen con los requisitos necesarios para poder ejecutar un proyecto con energías renovables.

Se realizó el uso de datos de la estación de IZOBAMBA M0003 ubicada a 9.39 Km del punto de estudio.

Para determinar el consumo de energía eléctrica se utilizó un analizador de redes el cual refleja diversos datos para la evaluación y dimensionamiento, la utilización de estos datos obtenidos de manera bibliográfica y en el campo son utilizados para la simulación y el análisis de pre factibilidad del proyecto.

CONELEC publicó el "Atlas Solar Ecuatoriano" elaborado por la empresa de investigación energética CIE, que cuantifica el potencial solar disponible y la posibilidad de generar electricidad a partir de mapas mensuales de luz solar directa, global y difusa y sus cambios. Con este se trata de incentivar a la generación de

proyectos con energías renovables para estudio y aplicaciones en los diversos lugares del país [7].

INAMHI el Instituto Nacional de Meteorológica e Hidrología, mediante sus estaciones meteorológicas ubicadas en todo el país ha llegado a generar el Mapa de Irradiación Solar Global [8].

RETSCREEN es un software diseñado por el gobierno de Canadá que se está utilizando en gran parte del mundo para la evaluación de recursos renovables los cuales pueden ser aplicados para la generación de energía eléctrica, el cual adquiere datos de estaciones meteorológicas cercanas al lugar de estudio y de igual manera trabaja con la base de datos que ofrece la NASA para realizar un estudio de pre factibilidad totalmente gratuito, este tipo de herramientas ayuda al campo ingenieril en sus estudios y diseños de proyectos [9].

PVsyst es un laboratorio fundado en 1975 que genera datos para el diseño e implementación de sistemas mediante energías renovables utilizando como fuente la radiación solar, SRML brinda datos cercanos a lugares de estudio en el planeta para ayudar e incentivar a la aplicación de nuevas tecnologías [10].



**Figura. 5 Estación meteorológica automática de IZOBAMBA (INAMHI)**

La demanda eléctrica del sitio de estudio fue determinada mediante un analizador de redes, el cual mediante un periodo de una semana se instaló para registrar los datos necesarios y de esta manera poder detallar la calidad del consumo eléctrico.

## **2.4 Procedimiento de la Investigación**

El procedimiento de la investigación se establece de manera bibliográfica y por medio de observaciones de campo, realizando primordialmente la recopilación de datos de las variables de estudio como las condiciones meteorológicas y la demanda eléctrica residencial, generando el análisis de los parámetros para realizar la simulación mediante software y de esta manera poder desarrollar el sistema automático que permita hacer el uso tanto de la energía que se genere con el sistema renovable y la energía eléctrica que brinde la empresa eléctrica publica sin mayor papeleo ya que este sistema será aguas abajo de la acometida residencial.

### **2.4.1 Descripción del sitio de estudio.**

El lugar de estudio se encuentra en la ciudad de Aloag ubicada en el cantón Mejía ( $0^{\circ}28'25.62''S$  de latitud sur,  $78^{\circ}35'15.14''O$  de longitud oeste, 2973 de elevación), el cual se toma como punto de referencia para la investigación.



**Figura. 6 Ubicación del lugar de estudio**

### 2.4.2 Ubicación de la estación meteorológica

Para la obtención de los datos de radiación solar se utilizó las instalaciones del INAMHI estación meteorológica de IZOBAMBA ubicada en el sector de Cutuglahua perteneciente al cantón Mejía ( $0^{\circ}21'58.80''S$  de latitud sur,  $78^{\circ}33'16.59''O$  de longitud oeste, 3061 de elevación) con una distancia de 9.39 Km del lugar de estudio.

En la figura 7 se observa la distancia registrada entre el lugar de estudio y la estación meteorológica de IZOBAMBA.

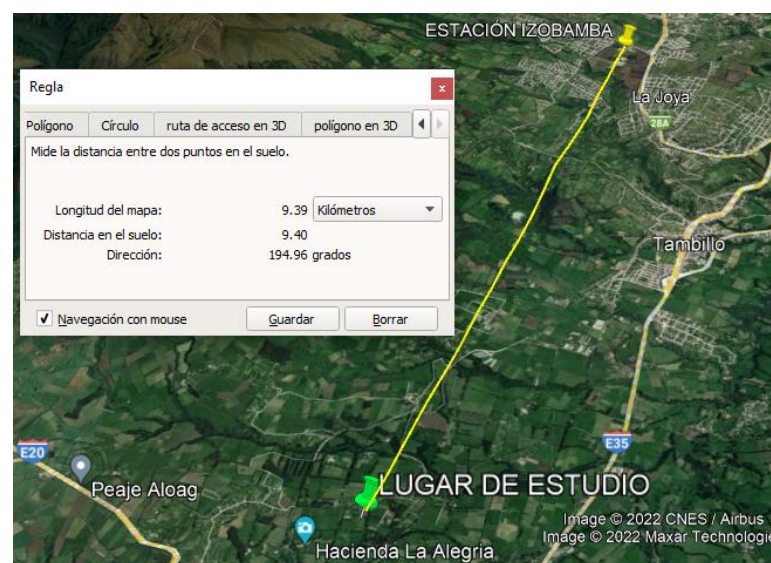


Figura. 7 Ubicación de la estación meteorológica de IZOBAMBA

### 2.4.3 Instrumento para la determinación de la demanda eléctrica residencial

La obtención de datos para la determinación de la demanda básica de consumo residencial se realiza mediante el uso de un analizador de redes el cual mediante normativas publicadas por la CONELEC se deberá instalar por un periodo de 7 días consecutivos, intervalo de toma de datos de 10 minutos y de esta manera generar la información necesaria para la sustentación de la investigación.

En la figura 8 se muestra el intervalo de registro de los datos para realizar el análisis de demanda eléctrica en la residencia de estudio.

#### Resumen de medición

Topología de medición	1Ø FASE DIVIDIDA
Modo de aplicación	Registrador
Primera medida	15/04/2021 10:18:45 592mseg
Última medida	22/04/2021 10:13:45 592mseg
Intervalo de grabación	0h 5m 0s 0mseg
Tensión nominal	120 V
Corriente nominal	300 A
Frecuencia nominal	60 Hz
Hora de inicio del archivo	15/04/2021 10:13:45 592mseg
Hora de fin del archivo	22/04/2021 10:13:45 592mseg
Duración	7d 0h 0m 0s 0mseg
Número de eventos	Normal: 323    Detalle: 678
Eventos descargados	Si
Número de pantallas	0
Pantallas descargadas	Si

**Figura. 8 Configuración del analizador de redes**

## 2.5 Diseño de pre factibilidad

Para la simulación y el diseño de pre factibilidad del sistema de energía renovable se utilizarán cálculos matemáticos para el dimensionamiento de los equipos a instalarse, los cuales mediante software de análisis se determinará su factibilidad para la investigación.

La utilización de ecuaciones es necesaria para obtener los dimensionamientos tanto de capacidad como de tamaños de: inversor y batería, ya que mediante estas operaciones podemos obtener resultados y valores numéricos reales, mismos que son necesarios para saber cuál es la potencia y el consumo eléctrico necesario para el trabajo de estos equipos eléctricos.

Mediante el uso de estas fórmulas se realiza el diseño de una hoja de cálculo la cual agiliza al proceso de dimensionamientos de los principales elementos de un sistema fotovoltaico.

### 2.5.1 Proceso de cálculo de número de paneles

Para el proceso de cálculo de número de paneles se utiliza la ecuación 2.1 con la cual por medio de los datos obtenidos mediante la ficha técnica se puede dar a conocer la cantidad de paneles solares necesarios para el proyecto.

$$\# \text{Paneles} = \frac{\Sigma \text{ total potencia dia} * \text{consumo del inversor}}{\text{Potencia del panel} * \text{HSP} * \eta_{\text{panel}}} \quad (2.1)$$

**Donde:**

*HSP*: Hora solar pico

$\eta_{panel}$ : Eficiencia del panel

### **2.5.2 Proceso de cálculo de potencia total generada**

Para determinar la cantidad de energía generada mediante el uso de los paneles solares se utiliza la ecuación 2.2 en la cual se toma en cuenta el número de paneles y mediante una regla de 3 se logra obtener la potencia generada con respecto a la radiación solar, esta ira variando paulatinamente con respecto a la toma de datos que se realizó en la investigación con respecto a la radiación solar.

$$PGT = \frac{ValR * ValRP}{PGP} \quad (2.2)$$

- ValR= Valor de radiación obtenida en el lugar de estudio
- PGP= Potencia de generacion del panel
- ValRP= Valor de radiacion necesaria establecida por el fabricante

### **2.5.3 Proceso de cálculo del controlador**

En cuanto al dimensionamiento de un controlador se realiza mediante la ecuación 2.3 este es uno de los procesos principales en el diseño del sistema ya que va a encargarse de regular varios parámetros fundamentales.

$$\text{Controladores} = \frac{\#paneles * potencia del panel(\frac{W}{m^2})}{voltaje del controlador (V)} \quad (2.3)$$

### **2.5.4 Proceso de cálculo del inversor.**

Uno de los elementos principales en un sistema renovable es el inversor ya que va a ser el dispositivo encargado de convertir los parámetros de generación continuos a alternos para poder ser utilizados en el consumo de la residencia.

Para el dimensionamiento del inversor necesario de un sistema renovable se utiliza la ecuación 2.4.

$$\text{Inversor} = \Sigma \text{ total potencia dia (W) * consumo del inversor} \quad (2.4)$$

### 2.5.5 Proceso de cálculo de número de baterías.

Para el cálculo de número de baterías necesarias el cual va a abastecer la carga requerida en el lugar de estudio se utiliza la ecuación 2.5 la cual mediante los datos técnicos de las baterías a utilizarse dan a conocer la cantidad de estos dispositivos de acumulación para el sistema.

$$\# \text{Baterias} = \frac{\text{Energia * \%Energia total}}{\text{carga de la bateria * factor de descarga}} \quad (2.5)$$

### 2.5.6 Protecciones y actuadores eléctricos

#### Proceso de cálculo interruptor termo magnético general

Para la selección de las protecciones general tanto de la red eléctrica como del sistema de generación fotovoltaica utilizaremos la siguiente expresión.

$$I = \frac{P}{U \cdot \cos \varphi} \cdot fsb \quad (2.6)$$

En donde:

- I = Corriente de protección [A]
- P = Potencia del elemento [W]
- U = Tensión de alimentación [V]
- Cos  $\varphi$  = factor de potencia
- fsb = factor de sobrecarga (1,15)

#### Proceso de selección del contactor y relé

Para la selección de estos elementos al contar con un estudio eléctrico totalmente detallado en el lugar de estudio se puede optar por el método de ampacidad el cual mediante los voltajes y corrientes parametrizados se puede dimensionar con el uso de las fichas técnicas de dichos elementos.



## 2.5.7 Proceso para el dimensionamiento de los conductores

Para la selección del calibre del conductor del sistema se utiliza la corriente nominal, mediante esta y el uso de una tabla de calibres normalizada se realiza el dimensionamiento del conductor por el método de ampacidad.

Los datos de calibres normalizados para conductores se encuentran en el anexo 7.

## 2.6 Software para la simulación del sistema

Para el diseño de pre factibilidad del sistema renovable se emplea dos software de simulación con los cuales se realiza un análisis en cuanto al recurso renovable óptimo para el empleo en el sistema y la eficiencia de dicho recurso a aplicarse.

En cuanto a la simulación de automatización del sistema mediante energía renovable que trabaje conjuntamente con la red eléctrica se realizara el uso de software de simulación eléctrica demostrando la viabilidad para su implementación.

### 2.6.1 Software para el análisis de pre factibilidad mediante el recurso renovable

The screenshot shows the RETSCREEN software interface. The top menu includes options like 'Archivo', 'Ubicación', 'Instalación', 'Energía', 'Costo', 'Emisión', 'Finanzas', 'Riesgo', 'Datos', 'Analítica', 'Informe', 'Personaliza', 'Idioma', and 'Compartir'. Below the menu, there are several tool icons and a 'Paso 1 - Condiciones de referencia del sitio' section. This section contains input fields for 'Ubicación de datos meteorológicos' and 'Ubicación de la instalación', with values for latitude, longitude, elevation, and various temperatures. A table below shows monthly weather data for a year, including air temperature, humidity, precipitation, solar radiation, atmospheric pressure, wind speed, and heating/cooling degree days. The annual totals are also provided at the bottom of the table.

Mes	Temperatura del aire	Humedad relativa	Precipitación	Radiación solar diaria - horizontal	Presión atmosférica	Velocidad del Viento	Temperatura del suelo	Grados-días de calefacción 18 °C	Grados-días de refrigeración 10 °C
	°C	%	mm	kWh/m <sup>2</sup> /d	kPa	m/s	°C	°C-d	°C-d
Enero	13,8	77,3%	135,78	4,14	71,6	2,1	12,3	130	118
Febrero	14,0	76,9%	149,80	4,35	71,6	2,0	12,4	112	112
Marzo	13,9	77,4%	172,67	4,55	71,7	1,8	12,4	127	121
Abril	13,9	79,2%	196,50	4,33	71,7	1,8	12,2	123	117
Mayo	14,0	77,0%	131,13	4,12	71,7	1,9	11,7	124	124
Junio	14,1	68,5%	69,90	4,02	71,7	2,4	10,8	117	123
Julio	13,9	62,8%	46,19	4,27	71,7	2,8	10,5	127	121
Agosto	14,3	59,9%	40,30	4,46	71,7	3,0	10,8	115	133
Setiembre	13,9	68,3%	66,90	4,27	71,7	2,4	11,6	123	117
Octubre	13,7	74,6%	96,72	4,24	71,7	2,0	12,2	133	115
Noviembre	13,6	76,5%	100,20	4,30	71,6	1,9	12,4	132	108
Diciembre	13,6	78,2%	108,50	3,98	71,6	2,0	12,3	136	112
<b>Anual</b>	<b>13,9</b>	<b>73,0%</b>	<b>1.314,59</b>	<b>4,25</b>	<b>71,7</b>	<b>2,2</b>	<b>11,8</b>	<b>1.500</b>	<b>1.420</b>
Fuente	Suelo	Suelo	NASA	NASA	NASA	Suelo	NASA	Suelo	Suelo
Medido a						m	10	0	

Figura. 9 Software RETSCREEN

Mediante la utilización de RETSCREEN se agilito la selección del recurso renovable que se pueda aprovechar con mayor eficiencia en el lugar de estudio, la

interfaz de este software es amigable y la base de datos es amplia para su uso, en la figura 9 se muestra el condicionamiento inicial de ubicaciones para el uso de este software.

### 2.6.2 Flujograma de condicionamiento para la automatización

Para establecer las condiciones de funcionamiento del sistema renovable en cuanto al accionamiento y su desconexión se presenta el caso de censado en el cual mediante la medición de voltaje en las baterías del sistema renovable debe cumplir los parámetros establecidos para su funcionamiento.

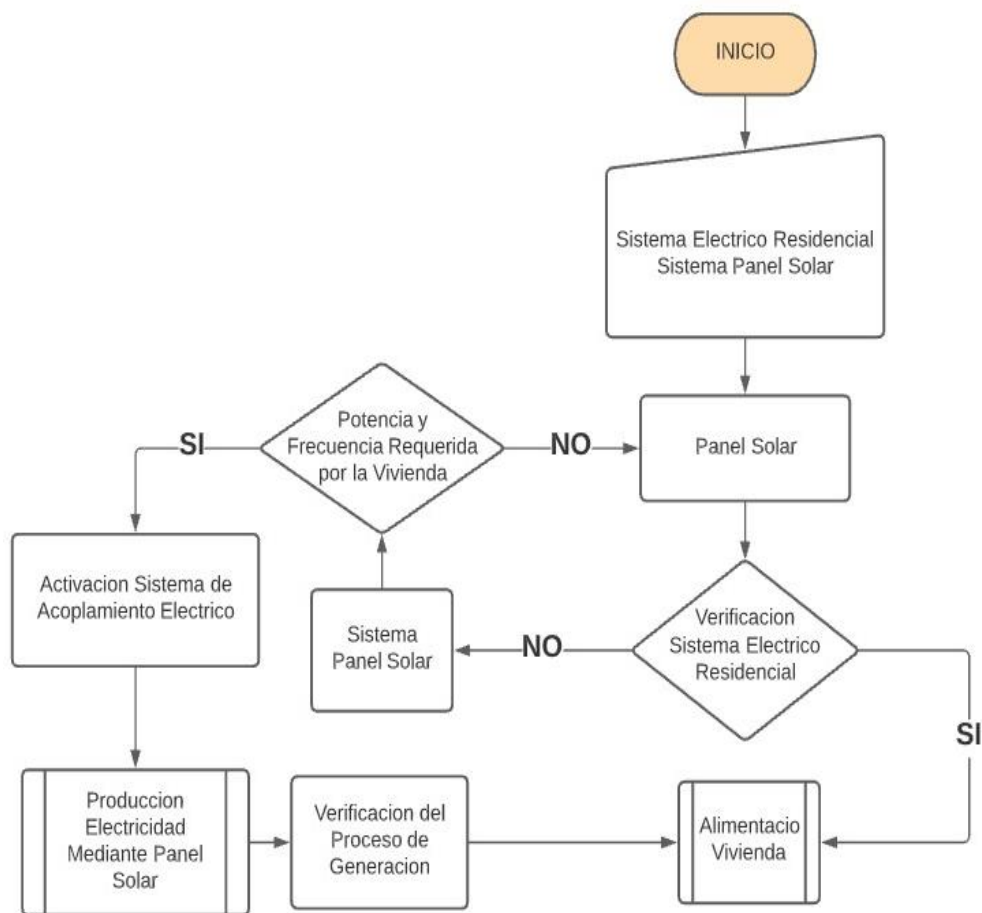


Figura. 10 Flujograma de condiciones del sistema renovable

### 2.6.3 Software para el análisis de los datos obtenidos

Mediante el uso de software eléctrico se puede enlazar los datos obtenido de la estación meteorológica y el analizador de redes ya que estos se encuentran en un

formato Excel y para su mejor análisis y manipulación se los envía al programa de simulación el cual permite graficar los datos mediante lenguaje de programación utilizando comando los cuales hacen posible la lectura de Excel al software.

En la figura 11 se muestra el interfaz y utilización de los comando de programación para la lectura de los datos en Excel.

```

data = xlsread('datos.xlsx');           %lectura hoja de excel con los valores asignados

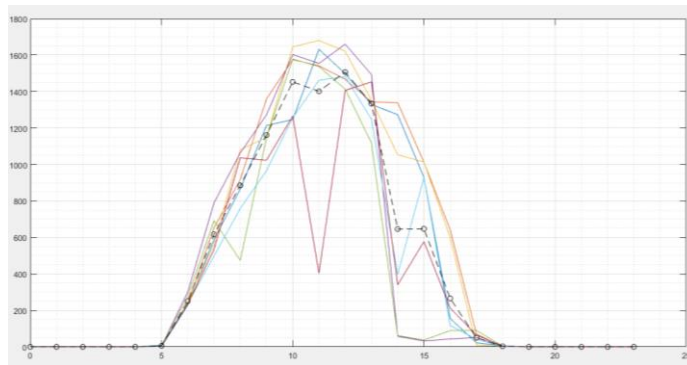
tem = data(:,3);                        %horas
vol = data(:,4);                        %voltaje
cor = data(:,5);                        %corriente
pot = data(:,7);                        %potencia
ras = data(:,9);                        %radiacion solar

teml = data(1:24,2);                    %horas lunes
tema = data(25:48,2);                   %horas martes
temm = data(49:72,2);                   %horas miercoles
temj = data(73:96,2);                   %horas jueves
temv = data(97:120,2);                  %horas viernes
tems = data(121:144,2);                 %horas sabado
temd = data(145:168,2);                 %horas domingo

```

**Figura. 11 Interfaz de programación**

En la figura 12 se puede visualizar las gráficas que el software de simulación eléctrica genera mediante el lenguaje de programación.



**Figura. 12 Análisis semanal de las variables mediante software**

#### **2.6.4 Software para el acondicionamiento de los elementos a implementarse**

Para la simulación en cuanto a los elementos involucrados en el sistema automático se utilizó un software de diseño eléctrico este está vinculado a una programación en un microcontrolador el cual va a ser el elemento que realice la parte de control de las variables a leer.

- Paneles solares
- Inversor
- Regulador de carga
- Baterías
- Tarjeta programable

## **2.7 Conclusiones**

- La utilización de fuentes alternas que generen información útil para la sustentación de diseños y aplicaciones con respecto a sistemas de generación de energías renovables es muy amplia y útil ya que facilitan diseños de pre factibilidad de este tipo de proyectos.
- Mediante los métodos de investigación bibliográfica y de campo se puede determinar la situación real en la que se encuentra sometida el lugar de estudio obteniendo tanto datos como antecedentes de investigaciones relacionadas, datos bibliográficos útiles para el diseño y datos in situ de las condiciones a trabajar.
- La aplicación de software para realizar diseños de proyectos en cuanto a sistemas con una nueva tendencia de generación de energía son de gran utilidad ya que mediante un análisis primario de pre factibilidad se puede determinar un gran porcentaje de eficiencia en el sistema.

## CAPITULO 3

### 3. ANÁLISIS DE RESULTADOS

En este capítulo se analiza los datos obtenidos del estudio desde la demanda eléctrica en la residencia hasta el recurso energético renovable, mediante el empleo de un analizador de redes el cual se centró en el monitoreo de datos como; potencia (Wh), voltaje (V) y corriente (A) genero los parámetros necesarios para la interpretación de la demanda eléctrica. Para la obtención de los datos de la mejor fuente de energía renovable para aplicar en el lugar de estudio se hizo el uso de un software de simulación para diseño de pre – factibilidad y la estación meteorológica de IZOBAMBA en este caso se optó por un sistema de generación fotovoltaica.

Mediante la simulación con software de diseño eléctrico se analiza el ambiente para la automatización detallando el funcionamiento del sistema y utilizando tecnología que se puede encontrar en el mercado, la realización de esta simulación e interpretación de datos facilitara la aplicación de estos sistemas mediante energías renovables que trabajen conjuntamente con la red eléctrica pública y de esta manera generar un sistema hibrido entre estos dos sistemas de consumo eléctrico y que se pueda aplicar independiente a los requerimientos que se necesitan para la solicitud de un medido bidireccional los cuales establecen las entidades reguladoras de electricidad.

Para el dimensionamiento del sistema de generación se emplea cálculos mediante los formularios citados en el capítulo II los cuales ayudan a la selección de los elementos necesarios como paneles solares, baterías, inversores, controladores, cables conductores, acoples y protecciones eléctricas que conformaran el sistema de generación fotovoltaica.

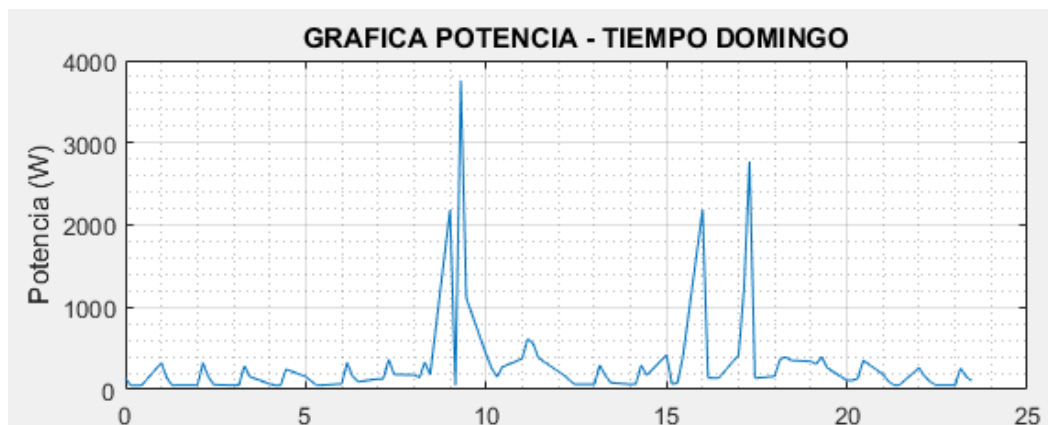
#### 3.1 Análisis de la demanda eléctrica residencial

Para el análisis eléctrico en la residencia de estudio se utilizó un analizador de redes el cual realizo un registro con un intervalo de 5 minutos por toma de datos, estos datos fueron monitoreados por una semana y promediado a intervalos de 1 hora los cuales se emplean para el cálculo de dimensionamiento del sistema fotovoltaico,

sin embargo para el análisis en cuanto a la generación fotovoltaica con respecto al consumo eléctrico se utilizaron estos datos promediados cada 15 minutos para obtener un mejor resultado del estudio, el parámetro para la obtención de datos están regidos por la normativa para estudios eléctricos según el CONELEC.

Para realizar el dimensionamiento en cuanto a la capacidad diaria que debe alimentar el sistema fotovoltaico se tomó como dato principal el día con mayor consumo eléctrico, siendo así 3.7 kW en un promedio de 15 minutos, sin embargo para realizar los cálculos respectivos para el dimensionamiento se necesita el consumo diario total promediado en horas el cual es de 7.5 kWh.

En la figura 13 se observa el registro de datos correspondiente a la potencia eléctrica que se consume en la residencia de estudio en un día para la cual se realizara el dimensionamiento del sistema fotovoltaico.



**Figura. 13 Potencia – Tiempo**

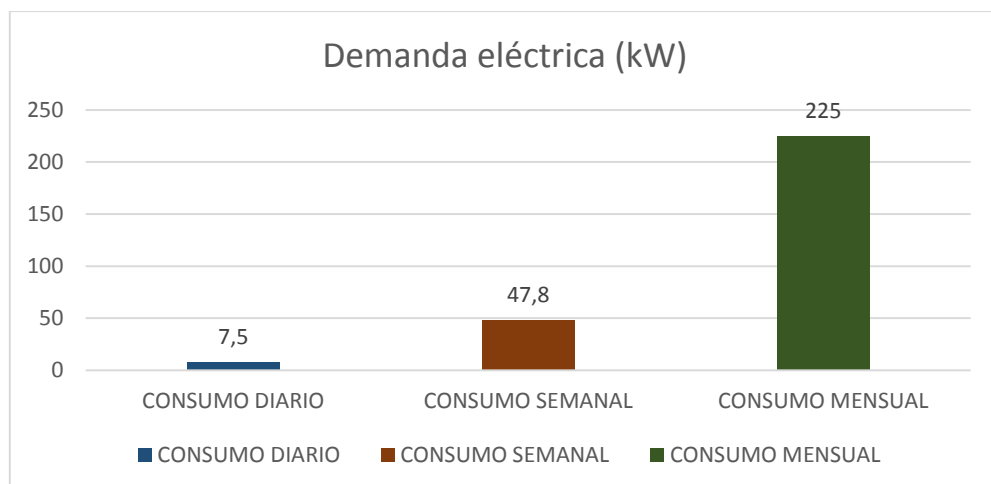
Un segundo método para determinar el requerimiento eléctrico en el lugar de estudio es utilizando una suma de cargas la cual mediante la potencia que esta consume, número de elementos eléctricos y horas de trabajo se puede obtener el valor necesario para realizar el dimensionamiento del sistemas.

En la tabla 5 se muestra la sumatoria de cargas eléctricas con respecto al número de elementos y el tiempo de funcionamiento, dando como consecuente un valor de 7.3 kWh/día.

**Tabla 5 Cargas eléctricas**

RUBRO	CANTIDAD	POTENCIA [W]	POTENCIA TOTAL [W]	POTENCIA FV [W]	HORAS DE USO DIARIO	ENERGÍA FV [Wh/día]
TELEVISOR	3	120	360,00	360,00	4	1440,00
FOCOS	20	20	400,00	400,00	6	2400,00
EQUIPO DE SONIDO	1	80	80,00	80,00	2	160,00
REFRIGERADORA	1	191	191,00	191,00	6	1146,00
EXTRACTOR DE HUMO	1	70	70,00	70,00	3	210,00
COMPUTADORA	2	150	300,00	300,00	4	1200,00
MICROONDAS	1	640	640,00	640,00	0,5	320,00
LAVADORA	1	143	143,00	143,00	1	143,00
LICUADORA	1	600	600,00	600,00	0,5	300,00
CARGADOR DE CELULAR	4	5	20,00	20,00	1	20,00
<b>TOTAL</b>			<b>2804,00</b>	<b>2804,00</b>		<b>7339,00</b>

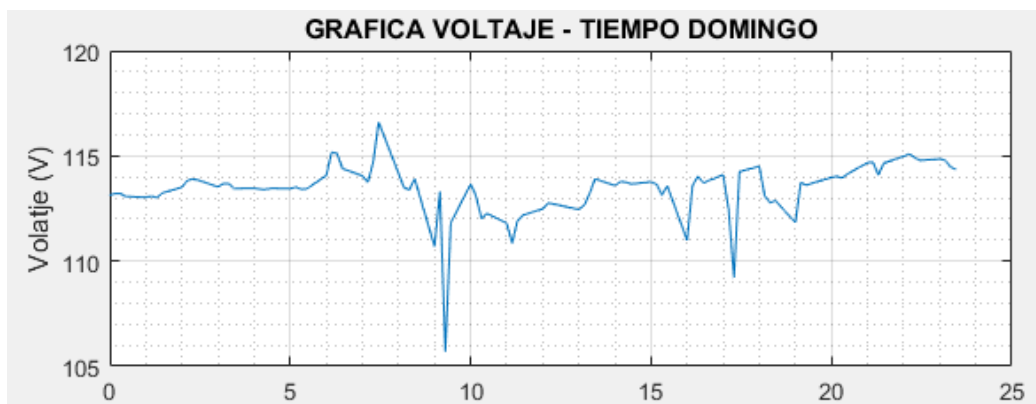
En la figura 14 se muestra los datos de consumo eléctrico reflejando una demanda diaria con un valor de 7.5 kWh/día, un consumo semanal con un valor de 47.8 kWh/semana y un consumo mensual de 225 kWh/mes en el cual se observa que los valores obtenidos del consumo mensual se encuentra en los rango según los estratos sociales de consumo eléctrico de 151-250 kWh/mensual, esta clasificación por estratos se encuentra en la tabla 3.



**Figura. 14 Demanda eléctrica en el lugar de estudio**

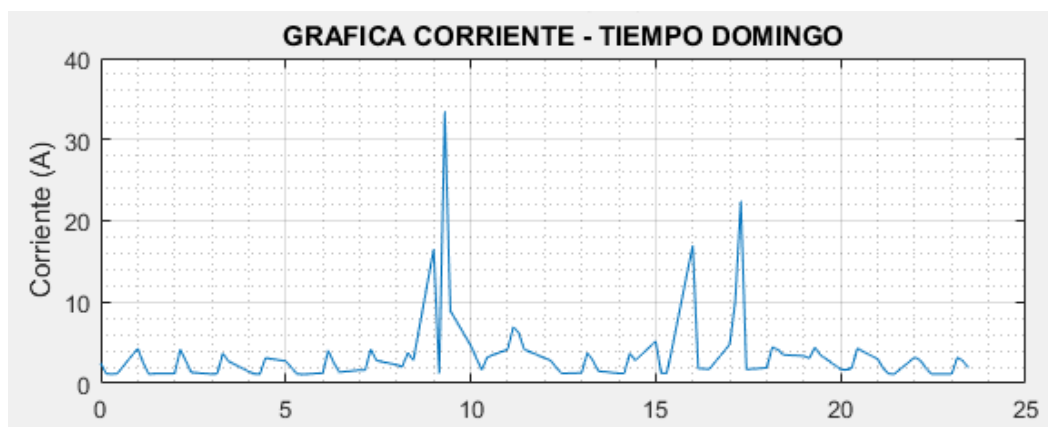
Mediante este análisis se concluye que el usuario residencial es de estrato por consumo tipo C, y se encuentra en el consumo eléctrico promedio del área urbana a nivel nacional.

Datos como lo es el voltaje y la corriente en el lugar de estudio son necesarios para el cálculo de protecciones tanto de la red eléctrica pública como del sistema fotovoltaico, en la figura 15 se muestran los valores registrados en cuanto al voltaje en el lugar de estudio los cuales van desde 105.7 V a 116.6 V con un promedio de 113.5 V.



**Figura. 15 Voltaje – Tiempo**

En cuanto a la corriente consumida en la residencia en la figura 16 se observan como un mínimo de corriente consumida de 1.19 A y un valor máximo de 33.46 A.



**Figura. 16 Corriente – Tiempo**



### 3.2 Selección del recurso renovable

Como primer análisis para la selección del recurso renovable a utilizarse en la investigación se utilizó el software de diseño para pre – factibilidad de energías renovables RETSCREEN el cual cuenta con una amplia base de datos meteorológicos tanto satelitales como de estaciones cercanas al punto donde se quiere realizar el estudio, este se emplea principalmente para generar una comparación entre diversos sistemas que utilicen energías renovables al contar con un amplia base de datos climatológicos da a conocer de manera general las mejores opciones para una implementación.

RETSCREEN tiene la versatilidad de comparar tipos de sistemas renovables, en la figura 17 se muestran los diferentes fuentes de generación para la producción de energía eléctrica por fuentes renovables, concluyendo que un sistema fotovoltaico en este caso estático tiene la mejor proyección para aplicar en el sitio de estudio en comparación al uso de turbinas eólicas (aerogeneradores), sin embargo para mejorar la eficiencia en este sistema fotovoltaico se le puede integrar un sistema de rastreo y aprovechar al máximo las condiciones climatológicas de la región.

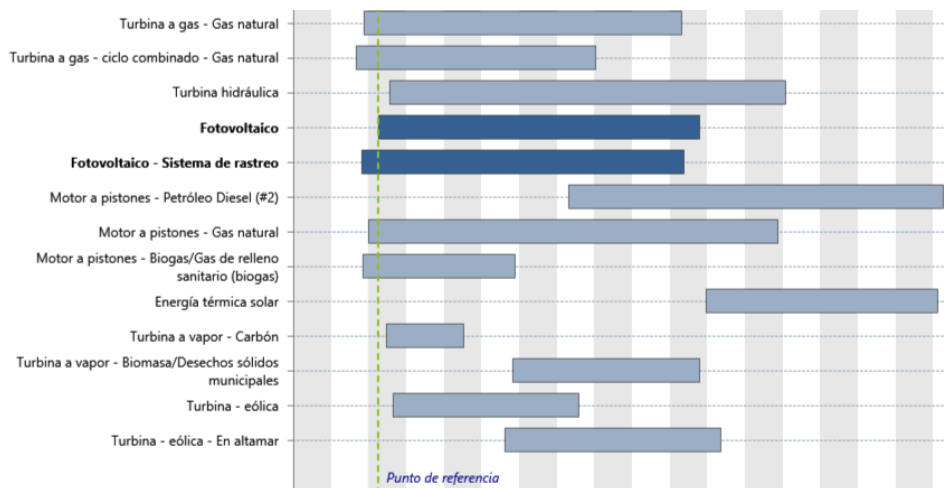
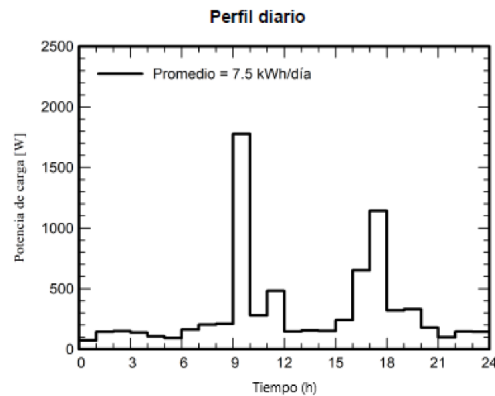


Figura. 17 Base de datos de RETSCREEN

En cuanto a la simulación del sistema fotovoltaico se opta por un segundo software en el cual se puede detallar de manera más específica ya que este tiene un enfoque puntual en este tipo de sistemas, la maniobrabilidad de este software es sencilla y

ofrece las herramientas para poder ingresar los datos reales obtenidos en el lugar del estudio, generando resultados con un mayor rango de aceptación a la realidad.

En la figura 18 se puede apreciar el perfil de consumo eléctrico diario ingresado en el software para la simulación dando un consumo promedio diario de 7.5 kWh/día.



**Figura. 18 Perfil de consumo eléctrico diario**

En la tabla 6 se muestra un resumen del estudio realizado en el cual mediante los datos registrados por el analizador de redes se estable la potencia diaria que se debe abastecer en el lugar de estudio siendo esta de 7.5 kW como el valor máximo registrado en la semana, por otro lado con el uso de los datos registrados en la estación meteorológica de radiación solar y la selección de elementos basada en potencias de generación y capacidad de almacenamiento se puede observar un valor promedio de generación diaria de 9.5 kW.

**Tabla 6 Resumen del estudio fotovoltaico**

<b>Resumen de estudio fotovoltaico</b>		
Necesidad del usuario	Perfil diario	Potencia promedio 313 W
	Proporción nocturna 50.0 %	Energía día 7.5 kWh
Paquete de baterías	1 en paralelo, 51 V	Capacidad 208 Ah
	Autonomía 1.3 día	Energía almacena 9.6 kWh

Conjunto FV	3 cadena(s) de 2 módulos	Potencia nominal 2.40 kWp
	PV/PLoad 7.7	Energía promedio día 9.5 kWh
Controlador	MPPT	Potencia nominal 2.09 kW
	PV/PConv 1.15	Umbrales según SOC

### 3.3 Cálculo para el dimensionamiento del sistema fotovoltaico

Para el dimensionamiento del sistema se utilizó las formulas expuestas en el capítulo 2 las cuales ayudan a la selección de los materiales para su implementación tomando en cuenta tanto un enfoque técnico como teórico para su análisis con la finalidad de obtener los resultados específicos en los cuales se especifiquen potencias, almacenamientos, eficiencia y perdidas que se podrían presentar en los distintos materiales a utilizarse.

#### 3.3.1 Cálculo de número de paneles

Para el cálculo de número de paneles se utiliza la ecuación 2.1 y los datos de consumo total diario, hora solar pico, eficiencia del panel y perdidas que podrían sufrir el conjunto de módulos fotovoltaicos que se instalen, en este caso se empleara las características de un panel solar de 385W BYD Termosolar.

$$\#Paneles = \frac{7500 * 1.20}{385 * 4.57 * 0.9}$$

$$\#Paneles = 6$$

Tabla 7 Cálculo de la potencia total con perdidas

MAGNITUD	VALOR	PÉRDIDAS DEL INVERSOR	TOTAL CON PÉRDIDAS
POTENCIA TOTAL [W]	2804,00	1,20	3364,80
POTENCIA FV [W]	2804,00	1,20	3364,80
ENERGÍA FV [Wh/día]	7339,00	1,20	8806,80

En la tabla 8 se muestra el resultado arrojado mediante la hoja de cálculo para el dimensionamiento del número de paneles solares necesarios para el sistema renovable.

**Tabla 8 Cálculo del número de paneles solares**

<b>ENERGÍA TOTAL [Wh/día]</b>	<b>8806,80</b>
<b>POTENCIA DE LOS PANELES [W]</b>	385,00
<b>IRRADIACIÓN MEDIA DEL PAÍS [Wh/m2]</b>	4570,00
<b>RENDIMIENTO DE LOS PANELES</b>	0,91
<b>NÚMERO DE PANELES DE 385,00 [W]</b>	<b>5,50</b>
<b>REDONDEADO A</b>	<b>6,00</b>

### 3.3.2 Cálculo del controlador

Mediante la ecuación 2.3 se determinaran los factores necesarios para la selección de los controladores los cuales deben cumplir con las características óptimas para su implementación.

$$\#Controladores = \frac{6 * 385}{65}$$

$$\#Controladores = 35.5 A$$

En la tabla 9 se muestra el resultado arrojado mediante la hoja de cálculo para el dimensionamiento del controlador de cargas necesario para el sistema renovable.

**Tabla 9 Cálculo del controlador**

<b>POTENCIA DEL CONTROLADOR [Wdc]</b>	<b>2310,00</b>
<b>AMPERAJE DEL CONTROLADOR [Adc]</b>	<b>46,2</b>
<b>VOLTAJE DC DE LOS PANALES [Vdc]</b>	50
<b>TIPO DE CONTROLADOR</b>	MPPT

### 3.3.3 Tamaño del inversor

La selección del inversor es uno de los pasos más importantes en cuanto a la selección de los elementos que van a constituir el sistemas fotovoltaico ya que este es el encargado de convertir la energía de corriente continua a corriente alterna la cual va a ser suministrada a la residencia, mediante el análisis realizado se

determina que el inversor requerido es de 3.75 kW siendo así la aproximación a un valor normalizado de 4.2 kW.

Mediante la ecuación 2.4 se determinan la potencia requerida para el sistema.

$$\begin{aligned} \mathbf{Inversor} &= 3750 \\ \mathbf{Inversor} &= 3.75 \text{ kW} \end{aligned}$$

En la tabla 10 se muestra el resultado arrojado mediante la hoja de cálculo para el dimensionamiento del inversor necesario para el sistema renovable.

**Tabla 10 Cálculo de inversor**

<b>POTENCIA DEL INVERSOR [Wdc]</b>	<b>3364,80</b>	<b>TIPO DE SISTEMA</b>
<b>VOLTAJE SALIDA AC [Vac]</b>	110	Monofásico de dos hilos con neutro y tierra

### 3.3.4 Cálculo para el número de baterías

Para este proyecto se tomara en cuenta la cantidad de energía almacenada necesaria para abastecer el consumo eléctrico en la noche y horas de la madrugada específicamente de 5 pm a 5 am ya que el índice de radiación solar en estas horas es relativamente bajo, se utiliza la ecuación 2.5 para este cálculo.

$$\#Baterías = \frac{208 * 1.20 * 1.05}{200 * 0.6}$$

$$\#Baterías = 2.18$$

$$\#Baterías = 3$$

En la tabla 11 se muestra el resultado arrojado mediante la hoja de cálculo para el dimensionamiento del número de baterías necesarias para el sistema renovable.

**Tabla 11 Cálculo de número de baterías**

<b>CARGA TOTAL [Ah]</b>	<b>208,00</b>
<b>VOLTAJE DC DE LAS BATERÍAS [Vdc]</b>	50,00
<b>CARGA DE LAS BATERÍAS [Ah]</b>	200,00
<b>FACTOR DE DESCARGA</b>	0,60

<b>PÉRDIDAS POR AUTODESCARGA</b>			1,20
<b>PÉRDIDAS ELECTROQUÍMICAS / RENDIMIENTO</b>			1,05
<b>NÚMERO DE BATERÍAS DE</b>	<b>200,00</b>	<b>[Ah]</b>	<b>2,18</b>
<b>REDONDEADO A</b>			<b>3,00</b>

Para la estimación del número de baterías a utilizarse en la implementación se utilizó los datos técnicos de una batería lo cual mediante el uso de la ecuación 2.5 se estima la utilización de 3 baterías.

### **Resumen de cálculos y selección de elementos**

En la tabla 12 se muestran los resultados de los cálculos realizados de los elementos principales que conforman el sistema fotovoltaico como lo es el número de paneles solares a utilizarse siendo así 6 paneles de 385 W, el tipo de controlado seleccionando un MPPT de 40A, un inversor con conexión a la red de 5000 W y un banco de baterías de 150A.

Mientras que los cables de conexión y los acoples fueron seleccionados por normativa siendo así acoples MP14 y cable aislado el ideal para el sistema.

**Tabla 12 Resumen de cálculo de elementos sistema fotovoltaico**

<b>Elemento</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Detalle</b>
Panel solar	6	385 W
Controlador	2	40 A
Inversor	1	5000 W
Batería	3	150 A
Cable aislado	5 (metros)	
Acople MP14	2	3 a 1

### **3.4 Cálculo para el dimensionamiento de los elementos necesarios para la automatización.**

Para determinar las características de los diversos elementos eléctricos de control y automatización del sistema se realizaron diversos cálculos y métodos de selección en cuanto a materiales determinando las corrientes y voltajes de trabajo de protecciones termomagnética, contactores, relés y calibre de cable eléctrico.

#### **3.4.1 Cálculo para las protecciones generales**

Para calcular las protecciones generales es necesario interpretar la corriente máxima a la que va opera el sistema y de esta manera seleccionar el dispositivo con las mejores características de aplicación.

Utilizando los datos registrados mediante el analizador de redes como primera instancia se puede seleccionar el mayor dato de corriente que se registró en el día con mayor consumo eléctrico siendo así 33.46 A y multiplicarlo por un factor de sobrecarga de 1.15 siendo así el resultado de 38.48 A y una tensión de servicio 110 V, para verificar este resulta se opta por utilizar la ecuación 2.6 en la cual mediante el dato de potencia con mayor consumo que es proporcional a la corriente seleccionada siendo 3756.67 W y una tensión de servicio de 110 V da como resultado 40 A, de esta manera se selecciona una protección termo magnética general para el sistema de 40 A siendo este un valor comercial en el mercado.

$$I = \frac{3756.67}{110 * 0.98} * 1.15$$

$$I = 40 A$$

Mientras que para la selección de la protección termo magnética del sistema fotovoltaico se la realiza por el método de ampacidad teniendo como dato principal la corriente máxima del inversor el cual va a abastecer el consumo eléctrico y trabaja a una corriente máxima de 32 A.

### 3.4.1 Selección de elementos de control

Para la selección del contactor se utiliza los datos de la hoja técnica del inversor al ser la cantidad de energía que se va a generar mediante esta se procede a seleccionar un contactor de 40 A.

Mientras que para la selección del relé se establece como parámetro principal el voltaje de funcionamiento ya que la alimentación generada va directo desde la tarjeta de automatización esta envía una señal de 5V, por lo cual se necesita un relé de accionamiento rápido a 5V.

### 3.4.1 Selección del calibre de cable

Para la selección del calibre del conductor en la instalación se usa el valor de corriente registrado de 33.46 A y por el método de ampacidad se determina que el calibre del conductor es de calibre 10 AWG el cual soporta hasta 35 A, instalación por medio de tuberías y una sección de  $5.26 \text{ mm}^2$ .

### Resumen de cálculos y selección de elementos

En la tabla 13 se encuentra la cantidad y detalle de los diversos elementos a utilizarse para el control del sistema automático.

Tabla 13 Cálculo de elementos de control

Elemento	Cantidad	Detalle
Protección termomagnética	1	40 A
Protección termomagnética sistema FV	1	32 A
Contactor	2	40 A
Relé	2	5V
Calibre del conductor	20 (metros)	10 AWG

### 3.5 Análisis de radiación solar y generación fotovoltaica

Los datos de radiación solar fueron obtenidos de la estación meteorológica de IZOBAMBA ubicada a 9.39 Km del punto de estudio la cual se encuentra en un



rango aceptable para realizar su uso de datos, el análisis de estos datos ayudan al dimensionamiento del sistema para la residencia y para obtener una mejor referencia del tiempo de funcionamiento y aportación del sistema renovable en la generación de energía eléctrica, al igual que comparar y observar el rango variación en los datos que ofrece el atlas solar del Ecuador y el software de simulación.

Para la obtención de las gráficas con respecto a la generación de energía se realizó mediante la ecuación 2.2 ya que se cuenta con el número de paneles y las características técnicas de generación del panel solar a utilizarse.

Con respecto al número de paneles se multiplica por 6 así se obtendrá la potencia generada del sistema fotovoltaico total.

$$PG = \left( \frac{ValR * 359}{1000} \right) * 6$$

### 3.5.1 Datos de radiación solar y generación fotovoltaica del mes de Junio

Para el análisis del recurso solar se toman como datos la radiación expresada en  $W/m^2$  para el mes de Junio, en el anexo 8 se muestra el comportamiento de la radiación solar con respecto al tiempo tanto del mes como de la semana, en cuanto a la semana se hace referencia en la cual se produjo el mayor pico de radiación, el pico con mayor radiación se identifico en la primera semana en cuanto al mes de Junio, mientras que en la figura 19 se muestra el día en el cual se manifestó el pico con mayor radiación solar en la semana del mes de Junio con un valor de 1085  $W/m^2$  a las 12 h y 15 min.

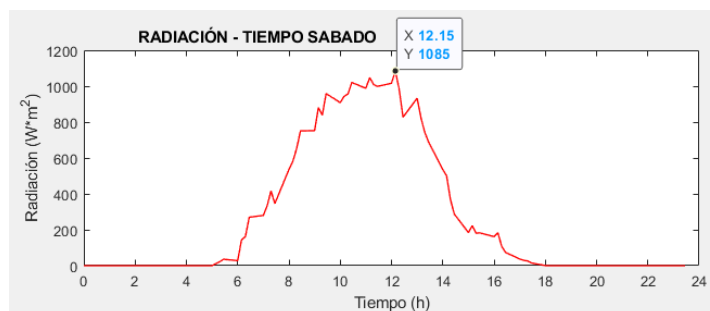
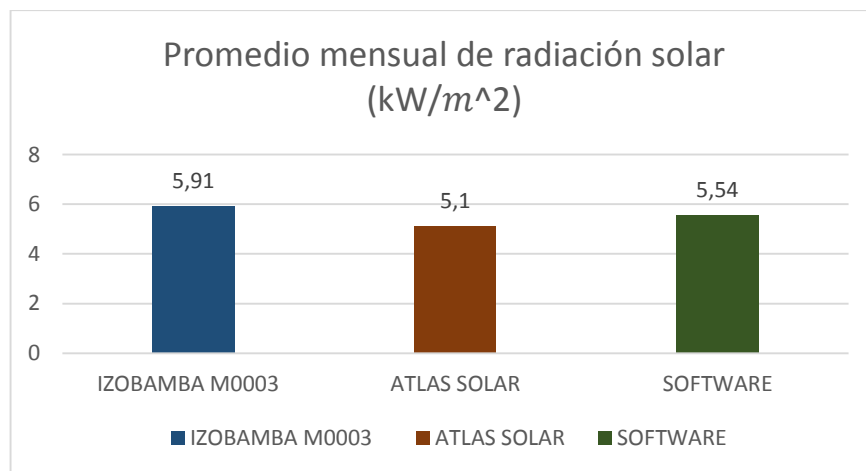


Figura. 19 Radiación - Tiempo (Junio/Diario)

La radiación solar promedio diaria es de  $281.59 \text{ W/m}^2$ , la radiación promedio mensual monitoreada en la estación meteorológica es de  $5.91 \text{ kW/m}^2$ , la radiación ofrecida por el atlas solar es de  $5.1 \text{ kW/m}^2$  y la radiación de la base de datos del software de simulación es de  $5.54 \text{ kW/m}^2$ .

En la figura 20 se muestra el diagrama de comparación de datos de radiación solar en el cual se aprecia una variación entre datos con respecto a la estación de IZOBAMBA, el atlas solar y el software de simulación.

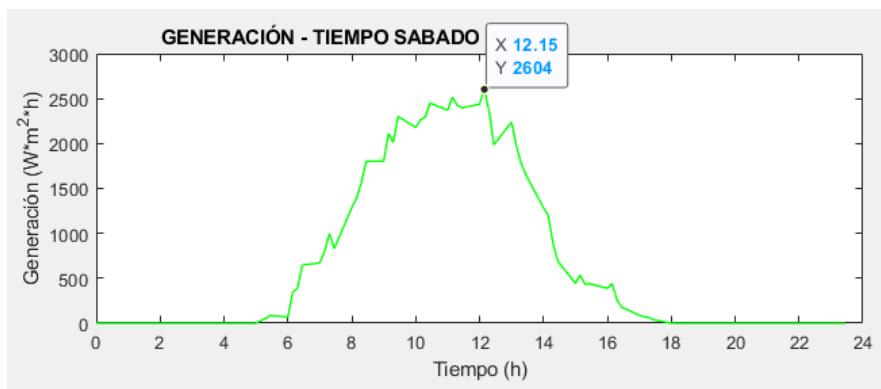


**Figura. 20 Comparación de datos - radiación solar**

Mediante el uso de los datos de radiación solar ( $\text{W/m}^2$ ) se obtiene el ítem de generación con el valor de generación que ofrece la ficha técnica del panel solar para el mes de Junio.

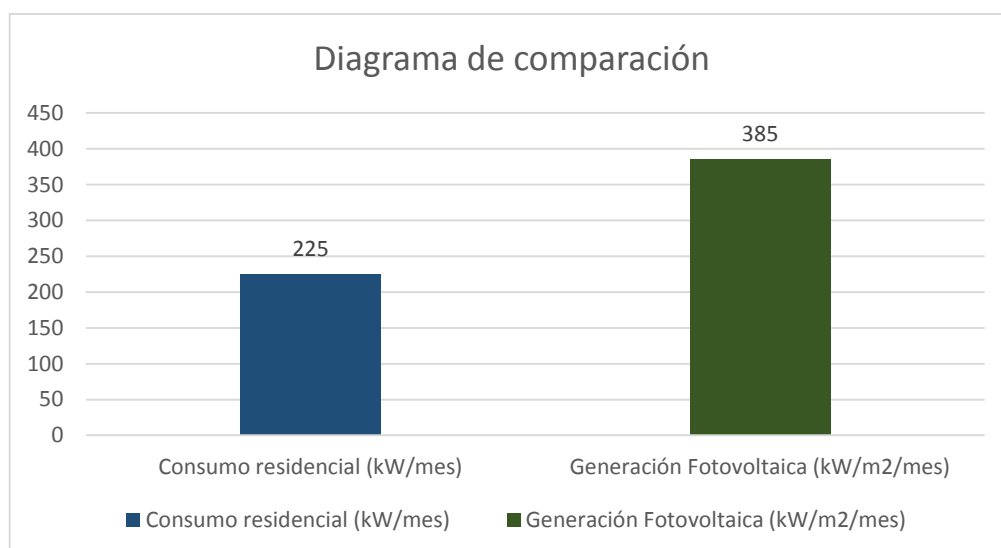
El anexo 9 muestra el comportamiento de la generación del sistema con respecto al tiempo tanto en el mes de estudio como en la semana en la cual se produjo el mayor pico de generación, para realizar este análisis se toma en cuenta el cálculo de número de paneles solares, dichos valores de generación se obtiene por la resultante de utilizar 6 paneles de 385 W.

Mientras que en la figura 21 se muestra el día en el cual se manifestó el pico con mayor generación del sistema en la semana del mes de Junio con un valor de  $2604 \text{ W/m}^2/\text{h}$  a las 12 h y 15 min.



**Figura. 21 Generación - Tiempo (Junio/Diario)**

En la figura 22 se observa el diagrama de comparación tanto la potencia consumida en el mes de Junio y la potencia que genera el sistema fotovoltaico en el mismo mes.

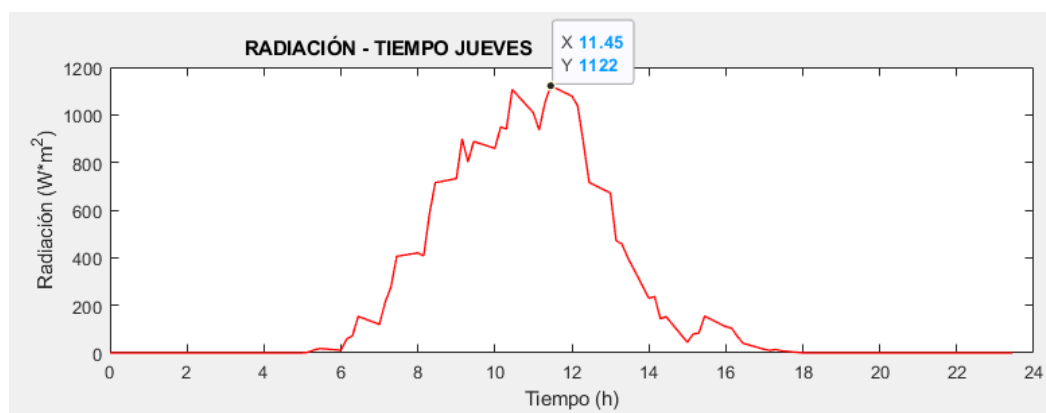


**Figura. 22 Diagrama de comparación**

### 3.5.2 Promedio de datos por hora de radiación solar diarios del mes de Julio

Para el análisis del recurso solar se toman como datos la radiación expresada en  $W/m^2$  para el mes de Julio, en el anexo 10 se muestra el comportamiento de la radiación solar con respecto al tiempo tanto del mes como de la semana, en cuanto a la semana se hace referencia en la cual se produjo el mayor pico de radiación, el pico con mayor radiación se identificó en la cuarta semana en cuanto al mes de Julio, mientras que en la figura 23 se muestra el día en el cual se manifestó el pico

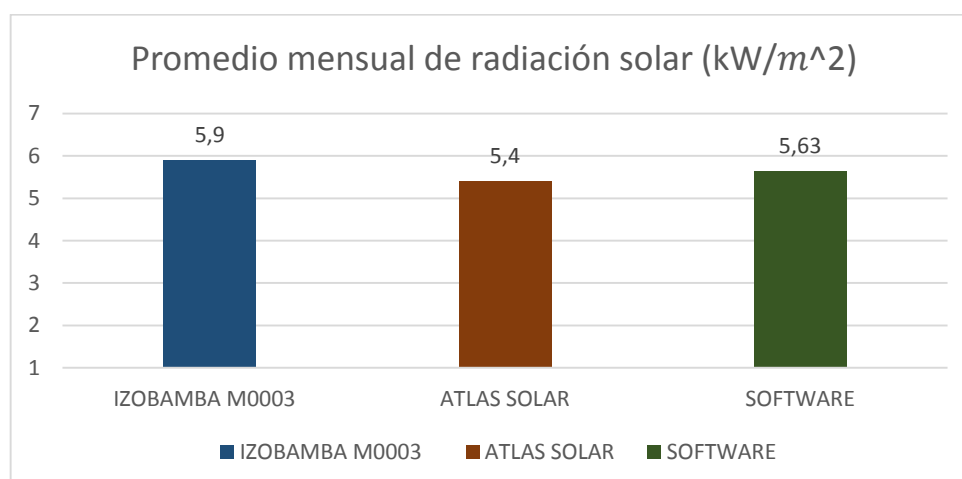
con mayor radiación solar en la semana del mes de Julio con un valor de  $1122 \text{ W/m}^2$  a las 11 h y 45 min.



**Figura. 23 Radiación - Tiempo (Julio/Diario)**

La radiación solar promedio diaria es de  $266.31 \text{ W/m}^2$ , la radiación promedio mensual monitoreada en la estación meteorológica es de  $5.9 \text{ kW/m}^2$ , la radiación ofrecida por el atlas solar es de  $5.4 \text{ kW/m}^2$  y la radiación de la base de datos del software de simulación es de  $5.63 \text{ kW/m}^2$ .

En la figura 24 se muestra el diagrama de comparación de datos de radiación solar en el cual se aprecia una variación entre datos con respecto a la estación de IZOBAMBA, el atlas solar y el software de simulación.



**Figura. 24 Comparación de datos - radiación solar**

Mediante el uso de los datos de radiación solar ( $W/m^2$ ) se obtiene el ítem de generación con el valor de generación que ofrece la ficha técnica del panel solar para el mes de Julio.

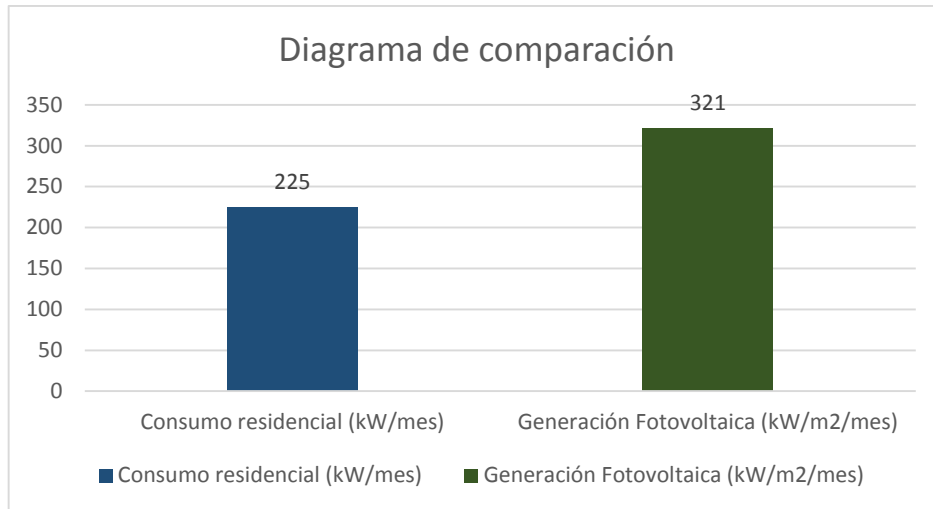
El anexo 11 muestra el comportamiento de la generación del sistema con respecto al tiempo tanto en el mes de estudio como en la semana en la cual se produjo el mayor pico de generación, para realizar este análisis se toma en cuenta el cálculo de número de paneles solares, dichos valores de generación se obtiene por la resultante de utilizar 6 paneles de 385 W.

Mientras que en la figura 25 se muestra el día en el cual se manifestó el pico con mayor generación del sistema en la semana del mes de Julio con un valor de 2694  $W/m^2/h$  a las 11 h y 45 min.



**Figura. 25 Generación - Tiempo (Julio/Diario)**

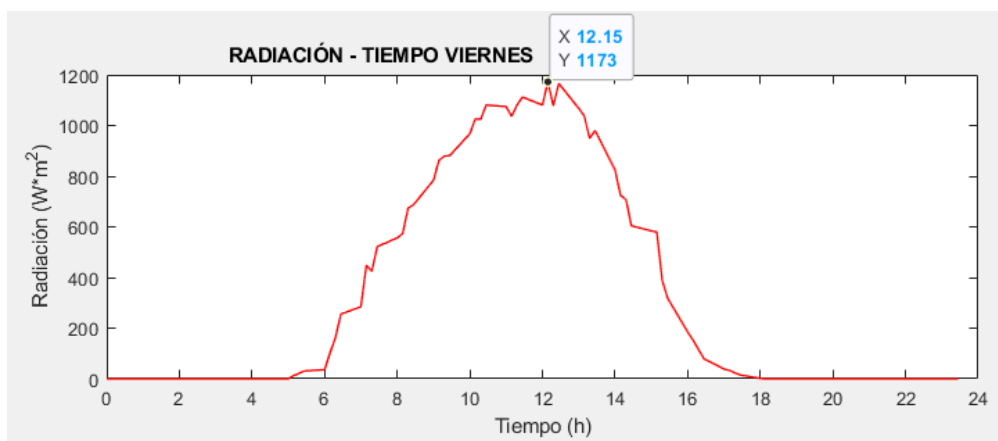
En la figura 26 se observa el diagrama de comparación de tanto la potencia consumida en el mes de Julio y la potencia que genera el sistema fotovoltaico en el mismo mes.



**Figura. 26 Diagrama de comparación**

### 3.5.3 Promedio de datos por hora de radiación solar diarios del mes de Agosto

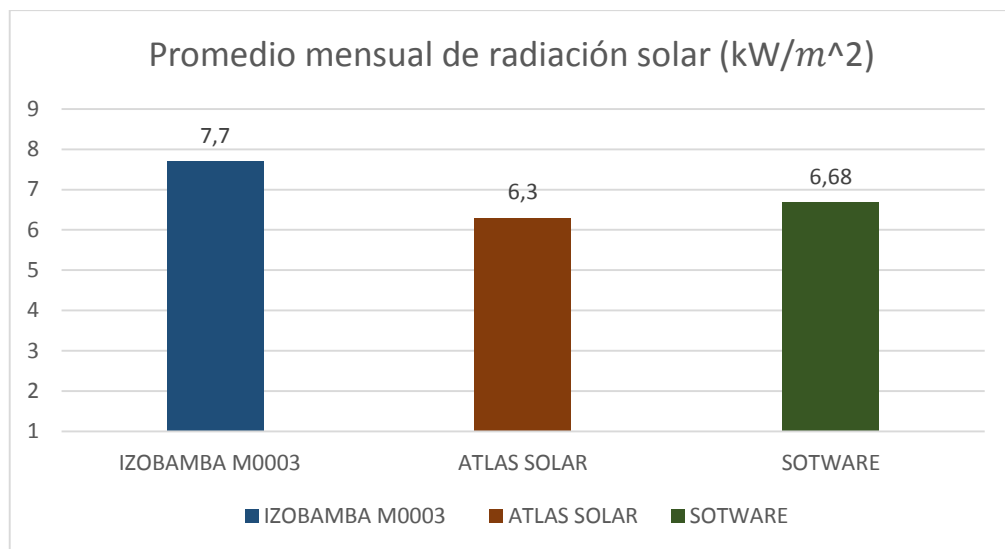
Para el análisis del recurso solar se toman como datos la radiación expresada en  $W/m^2$  para el mes de Agosto, en el anexo 12 se muestra el comportamiento de la radiación solar con respecto al tiempo tanto del mes como de la semana, en cuanto a la semana se hace referencia en la cual se produjo el mayor pico de radiación, el pico con mayor radiación se identifico en la primera semana en cuanto al mes de Agosto, mientras que en la figura 27 se muestra el día en el cual se manifestó el pico con mayor radiación solar en la semana del mes de Agosto con un valor de  $1173 W/m^2$  a las 12 h y 15 min.



**Figura. 27 Radiación - Tiempo (Agosto/Diario)**

La radiación solar promedio diaria es de  $328.5 \text{ W/m}^2$ , la radiación promedio mensual monitoreada en la estación meteorológica es de  $7.7 \text{ kW/m}^2$ , la radiación ofrecida por el atlas solar es de  $6.3 \text{ kW/m}^2$  y la radiación de la base de datos del software de simulación es de  $6.68 \text{ kW/m}^2$ .

En la figura 28 se muestra el diagrama de comparación de datos de radiación solar en el cual se aprecia una variación entre datos con respecto a la estación de IZOBAMBA, el atlas solar y el software de simulación.

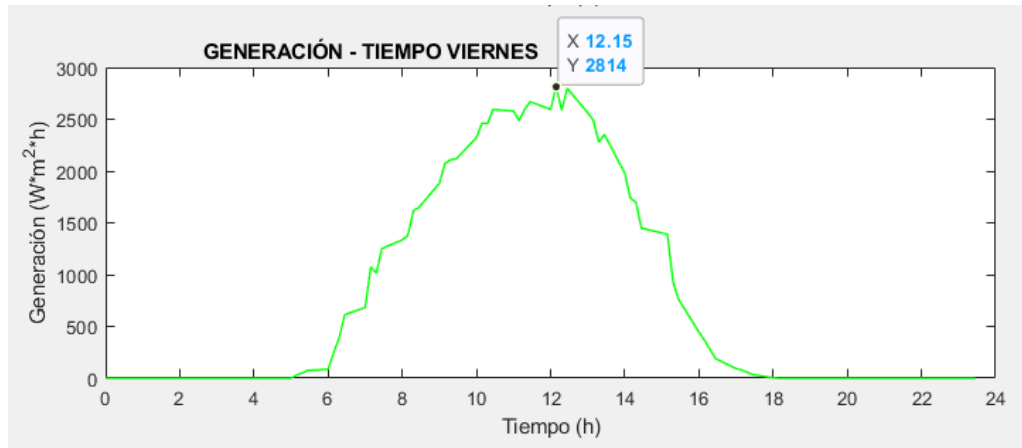


**Figura. 28 Comparación de datos - radiación solar**

Mediante el uso de los datos de radiación solar ( $\text{W/m}^2$ ) se obtiene el ítem de generación con el valor de generación que ofrece la ficha técnica del panel solar para el mes de Agosto.

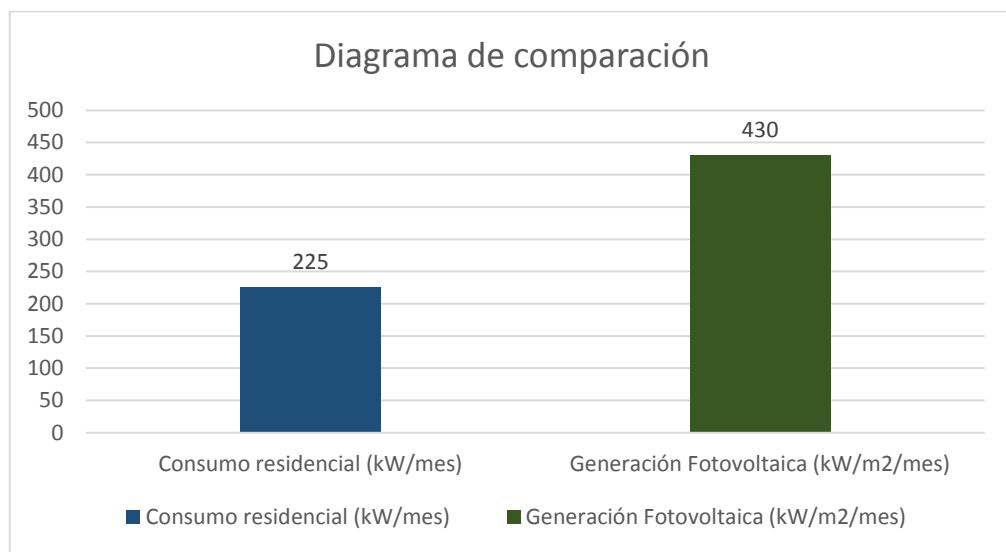
El anexo 13 muestra el comportamiento de la generación del sistema con respecto al tiempo tanto en el mes de estudio como en la semana en la cual se produjo el mayor pico de generación, para realizar este análisis se toma en cuenta el cálculo de número de paneles solares, dichos valores de generación se obtiene por la resultante de utilizar 6 paneles de 385 W.

Mientras que en la figura 29 se muestra el día en el cual se manifestó el pico con mayor generación del sistema en la semana del mes de Agosto con un valor de  $2814 \text{ W/m}^2/\text{h}$  a las 11 h y 45 min.



**Figura. 29 Generación - Tiempo (Agosto/Diario)**

En la gráfica 30 se observa el diagrama de comparación de tanto la potencia consumida en el mes de Agosto y la potencia que genera el sistema fotovoltaico en el mismo mes.



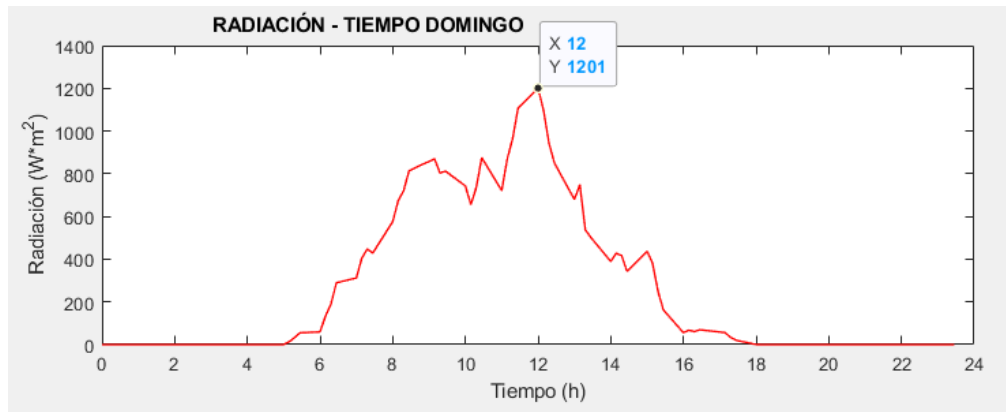
**Figura. 30 Diagrama de comparación**

### 3.5.4 Promedio de datos por hora de radiación solar diarios del mes de Septiembre

Para el análisis del recurso solar se toman como datos la radiación expresada en  $W/m^2$  para el mes de Septiembre, en el anexo 14 se muestra el comportamiento de la radiación solar con respecto al tiempo tanto del mes como de la semana, en cuanto a la semana se hace referencia en la cual se produjo el mayor pico de

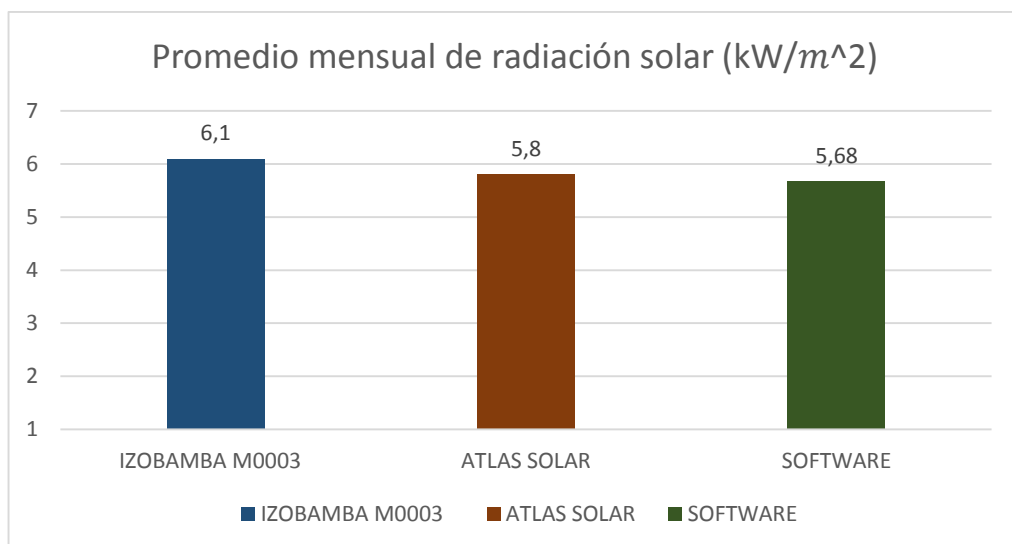


radiación, el pico con mayor radiación se identifico en la primera semana en cuanto al mes de Septiembre, mientras que en la figura 31 se muestra el día en el cual se manifestó el pico con mayor radiación solar en la semana del mes de Septiembre con un valor de  $1201 \text{ W/m}^2$  a las 12 h y 00 min.



**Figura. 31 Radiación - Tiempo (Septiembre/Diario)**

La radiación solar promedio diaria es de  $312.2 \text{ W/m}^2$ , la radiación promedio mensual monitoreada en la estación meteorológica es de  $6.1 \text{ kW/m}^2$ , la radiación ofrecida por el atlas solar es de  $5.8 \text{ kW/m}^2$  y la radiación de la base de datos del software de simulación es de  $5.68 \text{ kW/m}^2$ .



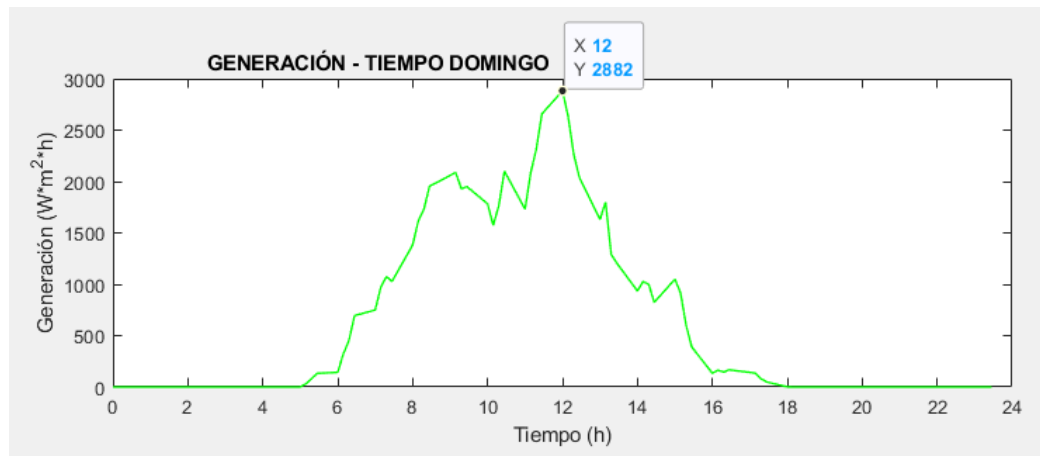
**Figura. 32 Comparación de datos - radiación solar**

En la figura 32 se muestra el diagrama de comparación de datos de radiación solar en el cual se aprecia una variación entre datos con respecto a la estación de IZOBAMBA, el atlas solar y el software de simulación.

Mediante el uso de los datos de radiación solar ( $W/m^2$ ) se obtiene el ítem de generación con el valor de generación que ofrece la ficha técnica del panel solar para el mes de Septiembre.

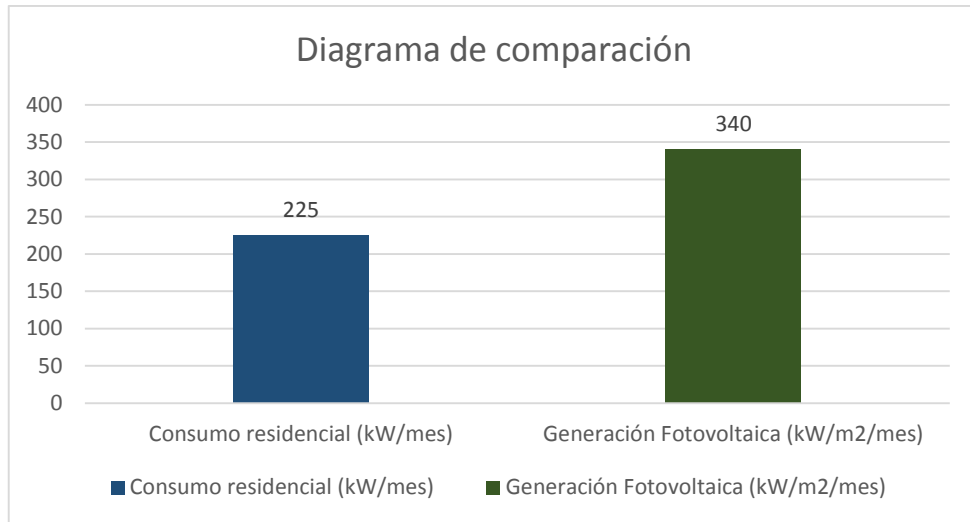
El anexo 15 muestra el comportamiento de la generación del sistema con respecto al tiempo tanto en el mes de estudio como en la semana en la cual se produjo el mayor pico de generación, para realizar este análisis se toma en cuenta el cálculo de número de paneles solares, dichos valores de generación se obtiene por la resultante de utilizar 6 paneles de 385 W.

Mientras que en la figura 33 se muestra el día en el cual se manifestó el pico con mayor generación del sistema en la semana del mes de Septiembre con un valor de  $2882 W/m^2/h$  a las 12 h y 00 min.



**Figura. 33 Generación - Tiempo (Septiembre/Diario)**

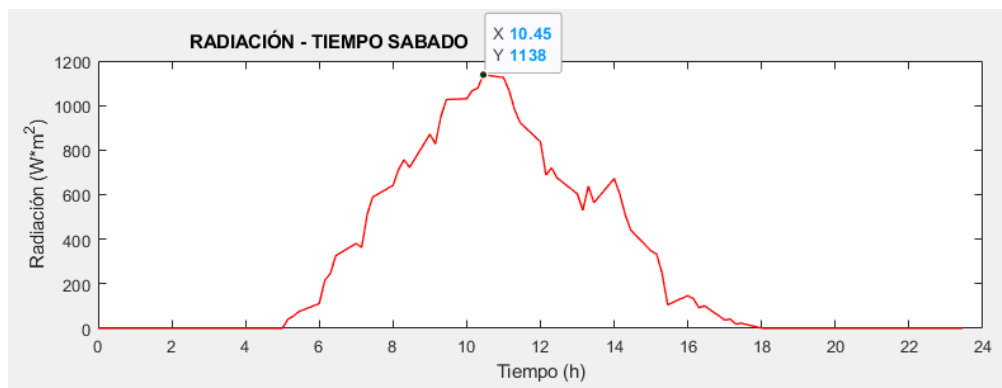
En la figura 34 se observa el diagrama de comparación de tanto la potencia consumida en el mes de Septiembre y la potencia que genera el sistema fotovoltaico en el mismo mes.



**Figura. 34 Diagrama de comparación**

### 3.5.5 Promedio de datos por hora de radiación solar diarios del mes de Octubre

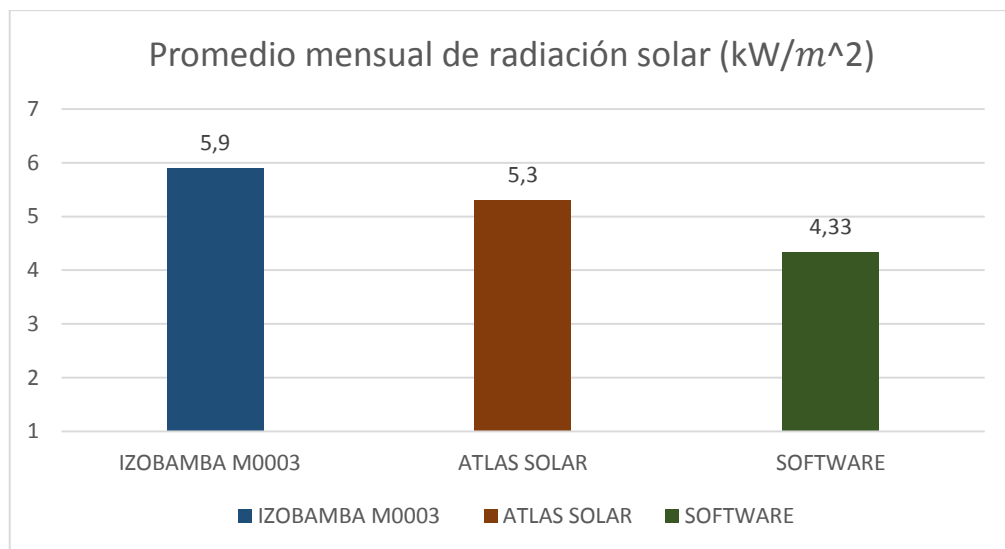
Para el análisis del recurso solar se toman como datos la radiación expresada en  $W/m^2$  para el mes de Octubre, en el anexo 16 se muestra el comportamiento de la radiación solar con respecto al tiempo tanto del mes como de la semana, en cuanto a la semana se hace referencia en la cual se produjo el mayor pico de radiación, el pico con mayor radiación se identifico en la primera semana en cuanto al mes de Octubre, mientras que en la figura 35 se muestra el día en el cual se manifestó el pico con mayor radiación solar en la semana del mes de Octubre con un valor de  $1138 W/m^2$  a las 10 h y 45 min.



**Figura. 35 Radiación - Tiempo (Octubre/Diario)**

La radiación solar promedio diaria es de  $317.38 \text{ W/m}^2$ , la radiación promedio mensual monitoreada en la estación meteorológica es de  $5.9 \text{ kW/m}^2$ , la radiación ofrecida por el atlas solar es de  $5.3 \text{ kW/m}^2$  y la radiación de la base de datos del software de simulación es de  $4.33 \text{ kW/m}^2$ .

En la gráfica 36 se muestra el diagrama de comparación de datos de radiación solar en el cual se aprecia una variación entre datos con respecto a la estación de IZOBAMBA, el atlas solar y el software de simulación.



**Figura. 36 Comparación de datos - radiación solar**

Mediante el uso de los datos de radiación solar ( $\text{W/m}^2$ ) se obtiene el ítem de generación con el valor de generación que ofrece la ficha técnica del panel solar para el mes de Octubre.

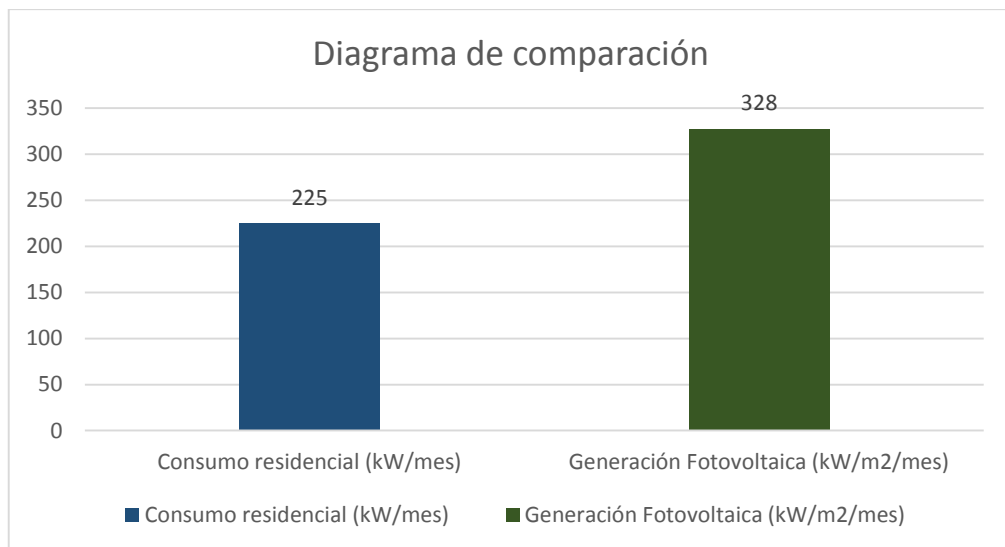
El anexo 17 muestra el comportamiento de la generación del sistema con respecto al tiempo tanto en el mes de estudio como en la semana en la cual se produjo el mayor pico de generación, para realizar este análisis se toma en cuenta el cálculo de número de paneles solares, dichos valores de generación se obtiene por la resultante de utilizar 6 paneles de 385 W.

Mientras que en la figura 37 se muestra el día en el cual se manifestó el pico con mayor generación del sistema en la semana del mes de Octubre con un valor de  $2731 \text{ W/m}^2/\text{h}$  a las 10 h y 45 min.



**Figura. 37 Generación - Tiempo (Octubre/Diario)**

En la figura 38 se observa el diagrama de comparación de tanto la potencia consumida en el mes de Octubre y la potencia que genera el sistema fotovoltaico en el mismo mes.



**Figura. 38 Diagrama de comparación**

### 3.5.6 Promedio de datos por hora de radiación solar diarios del mes de Noviembre

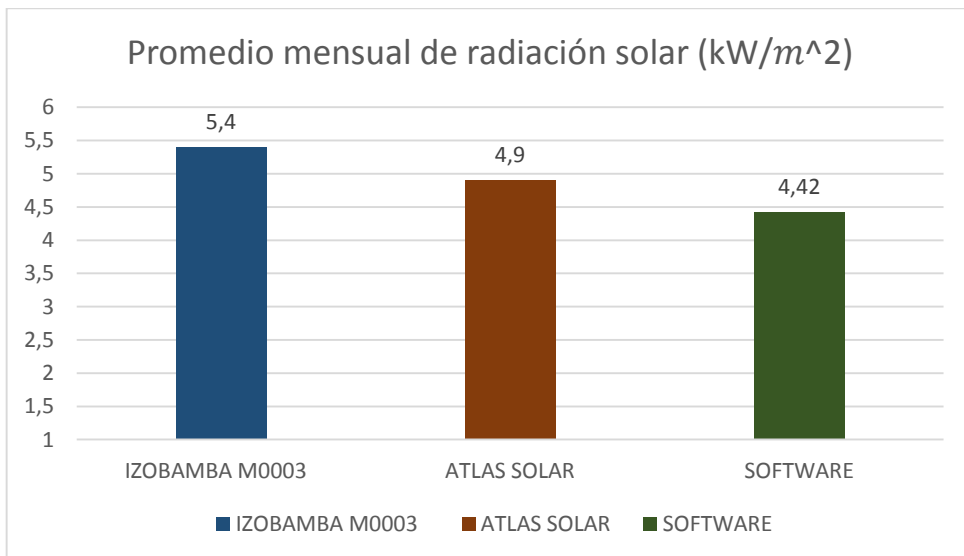
Para el análisis del recurso solar se toman como datos la radiación expresada en  $W/m^2$  para el mes de Noviembre, en el anexo 18 se muestra el comportamiento de la radiación solar con respecto al tiempo tanto del mes como de la semana, en cuanto a la semana se hace referencia en la cual se produjo el mayor pico de

radiación, el pico con mayor radiación se identifico en la cuarta semana en cuanto al mes de Noviembre, mientras que en la figura 39 se muestra el día en el cual se manifestó el pico con mayor radiación solar en la semana del mes de Noviembre con un valor de  $1079 \text{ W/m}^2$  a las 12 h y 00 min.



**Figura. 39 Radiación - Tiempo (Noviembre/Diario)**

La radiación solar promedio diaria es de  $236.1 \text{ W/m}^2$ , la radiación promedio mensual monitoreada en la estación meteorológica es de  $5.4 \text{ kW/m}^2$ , la radiación ofrecida por el atlas solar es de  $4.9 \text{ kW/m}^2$  y la radiación de la base de datos del software de simulación es de  $4.42 \text{ kW/m}^2$ .



**Figura. 40 Comparación de datos - radiación solar**

En la figura 40 se muestra el diagrama de comparación de datos de radiación solar en el cual se aprecia una variación entre datos con respecto a la estación de IZOBAMBA, el atlas solar y el software de simulación.

Mediante el uso de los datos de radiación solar ( $W/m^2$ ) se obtiene el ítem de generación con el valor de generación que ofrece la ficha técnica del panel solar para el mes de Noviembre.

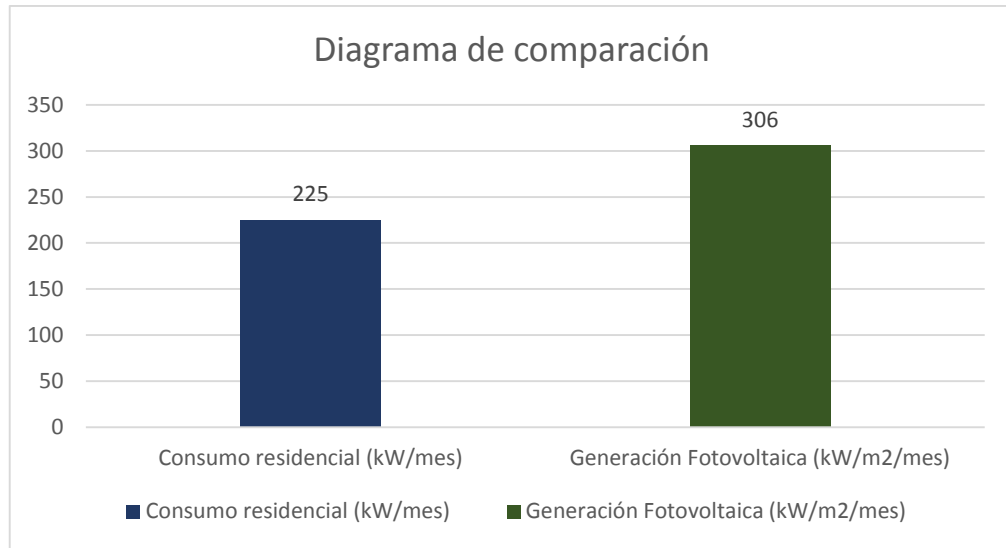
El anexo 19 muestra el comportamiento de la generación del sistema con respecto al tiempo tanto en el mes de estudio como en la semana en la cual se produjo el mayor pico de generación, para realizar este análisis se toma en cuenta el cálculo de número de paneles solares, dichos valores de generación se obtiene por la resultante de utilizar 6 paneles de 385 W.

Mientras que en la figura 41 se muestra el día en el cual se manifestó el pico con mayor generación del sistema en la semana del mes de Noviembre con un valor de  $2589 W/m^2/h$  a las 12 h y 00 min.



**Figura. 41 Generación - Tiempo (Noviembre/Diario)**

En la figura 42 se observa el diagrama de comparación de tanto la potencia consumida en el mes de Noviembre y la potencia que genera el sistema fotovoltaico en el mismo mes.



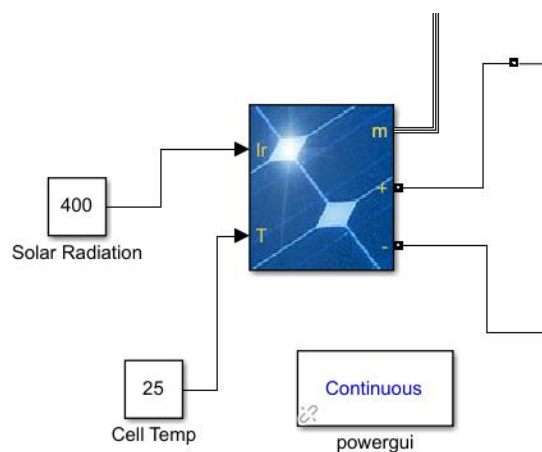
**Figura. 42 Diagrama de comparación**

Los datos utilizados de radiación solar se encuentran reflejados en el anexo 21 con sus respectivas medidas en rangos de tiempo.

### 3.6 Simulación del sistema de automatización

Mediante software de simulación se generó el sistema de automatización el cual se diseñó para la residencia, en dicho sistema se utilizó diversos componentes electrónicos los cuales se encuentran disponibles en el mercado.

#### 3.6.1 Panel Solar

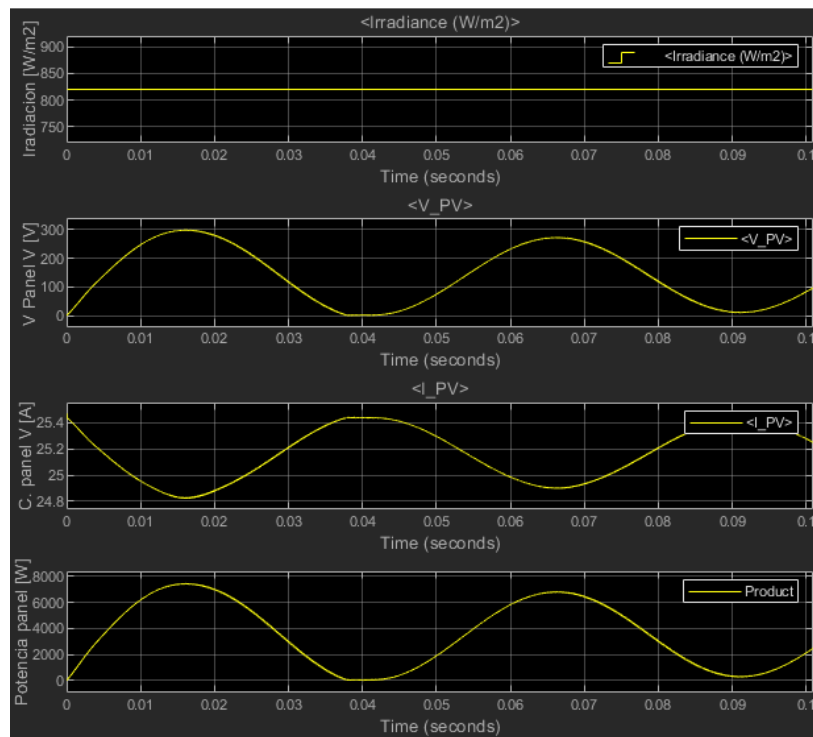


**Figura. 43 Panel Solar**



Como principal elemento en el sistema se debe implementar 6 paneles fotovoltaicos de 385W BYD Termosolar el cual generara voltaje, corriente y potencias necesarias para abastecer el consumo deseado en la residencia de estudio, este modelo de simulación se muestra en la figura 43.

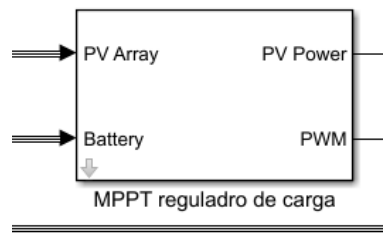
En la figura 44 se observa las gráficas en cuanto a la simulación del conjunto de paneles fotovoltaico, en la cual se muestra la radiación solar y factores como voltaje, corriente y potencia del sistema.



**Figura. 44** Curvas del Panel Solar

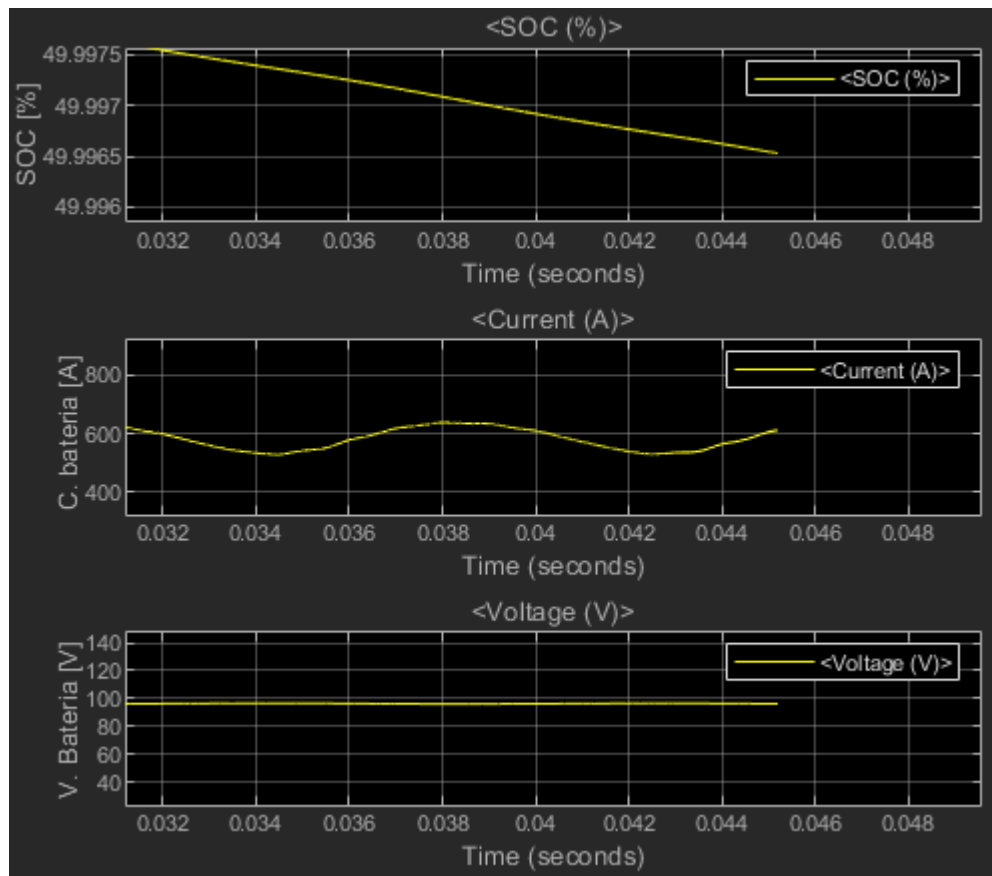
### 3.6.2 Regulador de carga

El regulador de carga es una parte fundamental del sistema ya que este ayuda a estabilizar la generación que se obtiene mediante el panel solar, el cual cuenta con el ingreso de la energía generada por el panel solar y las salidas a las baterías y al consumo, para la selección de este regulador de carga se necesita cumplir con 200 A como parámetro principal.



**Figura. 45 Regulador de carga**

E la figura 46 se muestra como trabaja el banco de baterías del sistema fotovoltaico observándose el porcentaje de descarga con respecto al tiempo.



**Figura. 46 Curvas del Banco de Baterías**

### 3.6.3 Inversor

Para el inversor se optó por uno tipo híbrido el cual tiene la cualidad de controlar la interacción entre la energía entregada por el sistema fotovoltaico y la empresa

eléctrica en cuanto se refiere a estabilizar los parámetros necesarios para su sincronización.

En la figura 47 se muestra el proceso de conversión de energía continua entregado por el sistema fotovoltaico a energía alterna la cual será utilizada para el autoconsumo.

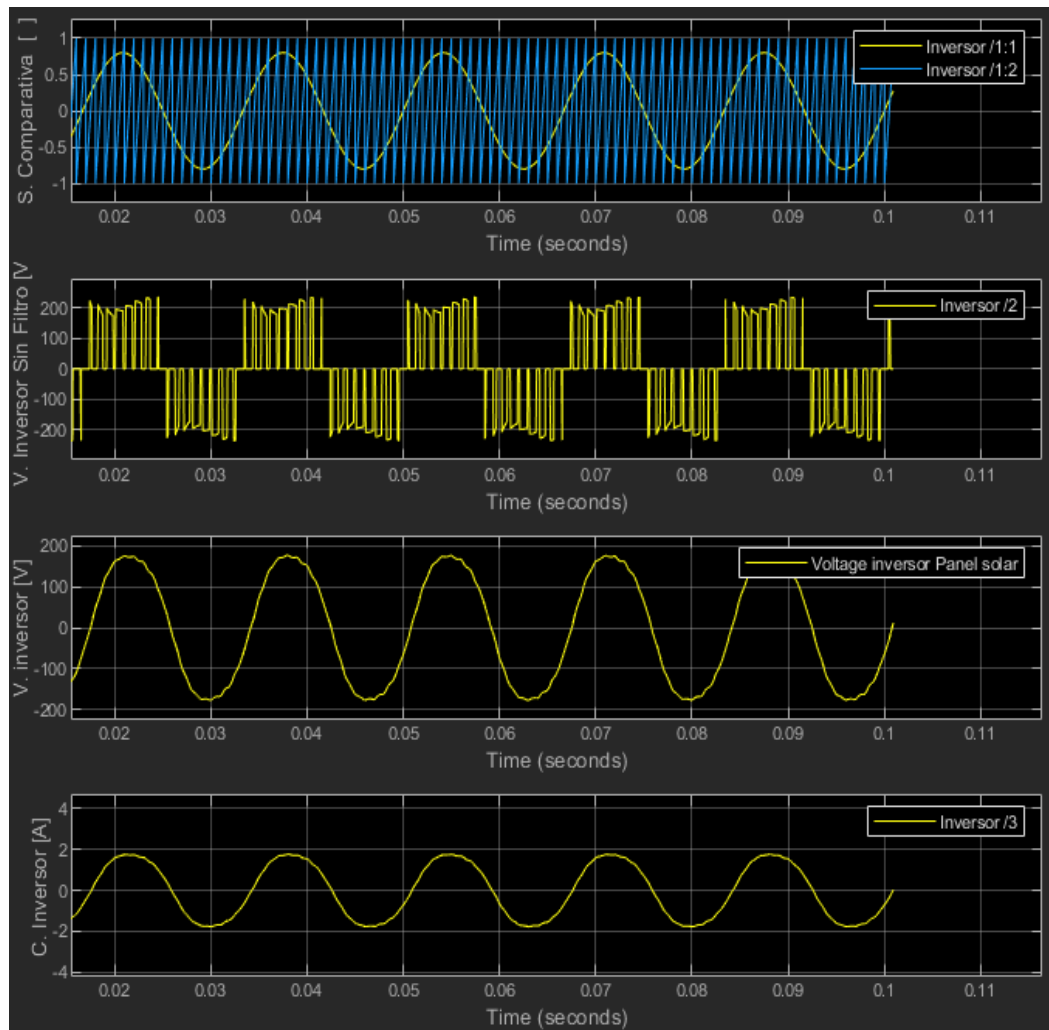
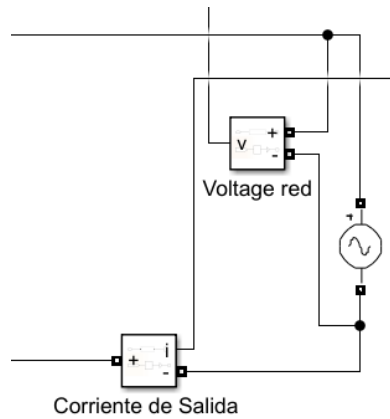


Figura. 47 Curvas del Inversor

### 3.6.4 Emulador de la red eléctrica

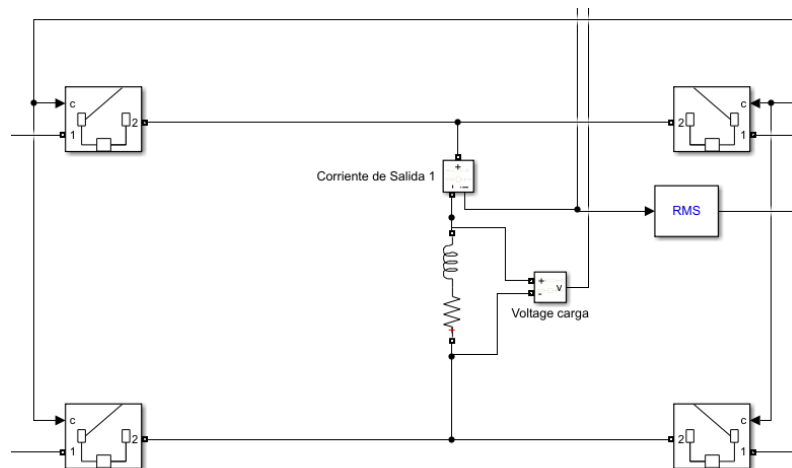
Mediante un sistema de emulación el cual simula la señal alterna que ofrece la red eléctrica pública se puede generar el comportamiento de la misma la cual se utiliza en el sistema de automatización en la figura 48 se muestra el modelo de simulación para dicho ítem.



**Figura. 48 Emulador de tensión eléctrica**

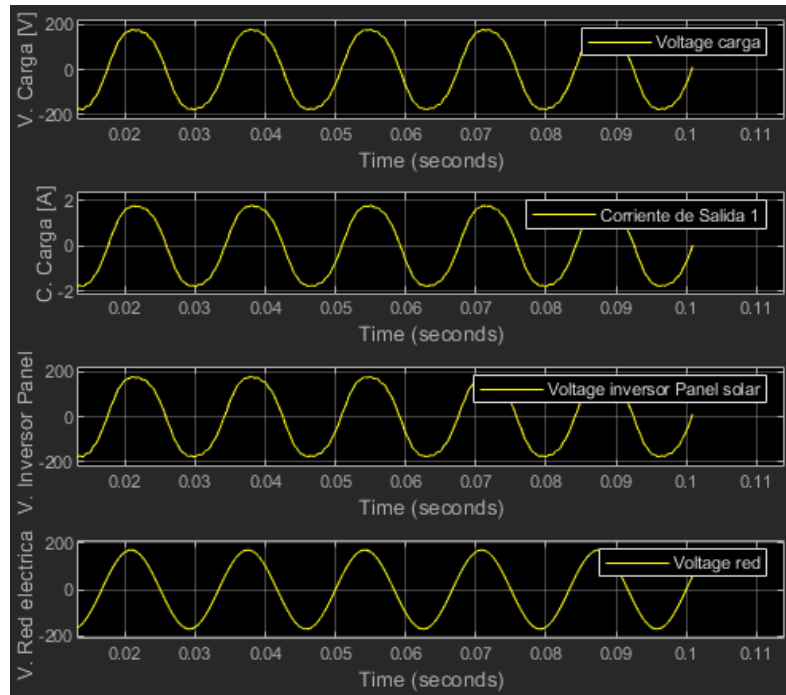
### 3.6.5 Switch y consumo de carga

Con la utilización de relés de accionamiento rápido el intercambio entre consumo eléctrico de la red pública y el sistema de generación fotovoltaica es posible ya que estos actúan de manera instantánea en cuanto la activación y desactivación dependiendo sus características técnicas, estos conjuntamente con los sensores de voltaje hacen que la automatización del sistema sea posible, en la figura 49 se muestra el modelo de simulación del acoplamiento del sistema ubicándose los contactores en cada línea de alimentación.



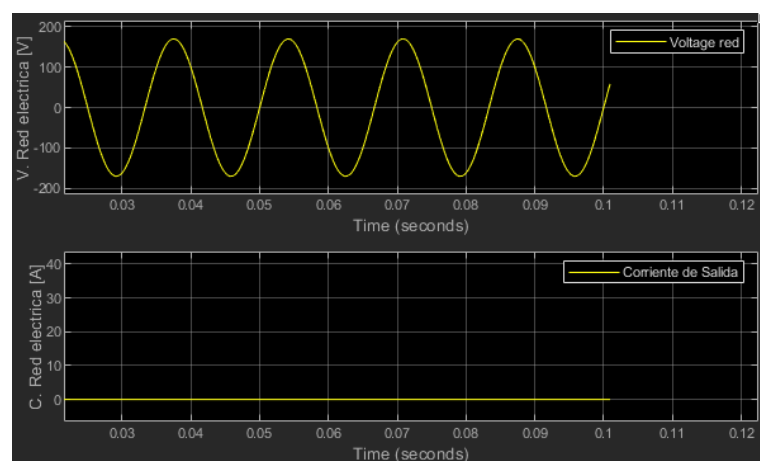
**Figura. 49 Sistema de control**

Se puede observar mediante la figura 50 como se encuentra el sincronismo los parámetros tanto del sistema renovable como de la red eléctrica pública lo cual es de vital importancia para realizar el acoplamiento entre sistemas.

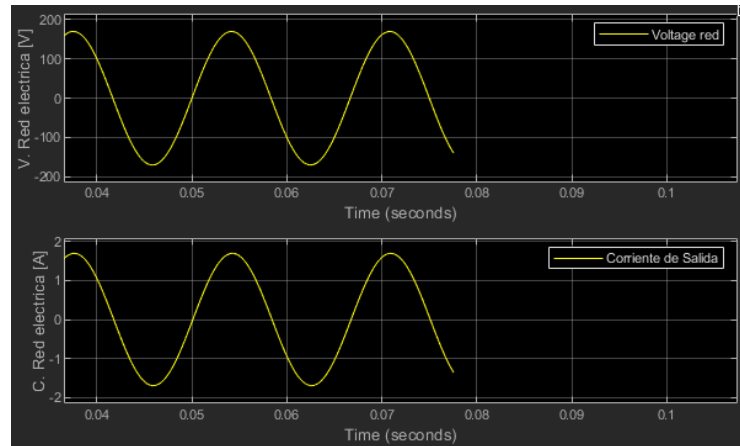


**Figura. 50** Curvas del sistema de acoplamiento

Mediante la simulación del consumo eléctrico se evidencia el trabajo del sistema observándose en la figura 51 la desconexión de la red eléctrica pública al notarse la pérdida en cuanto a la curva de corriente lo cual significa que el sistema renovable está trabajando, en el caso de la figura 52 se muestra lo contrario con la aparición de la curva de corriente lo cual significa que existe un consumo de la red eléctrica pública y el sistema fotovoltaico deja de funcionar.



**Figura. 51** Desconexión de a la red eléctrica pública

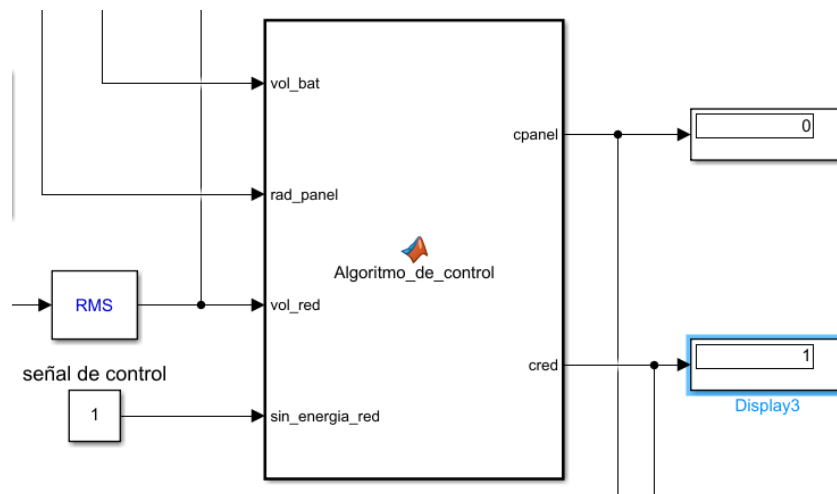


**Figura. 52** Conexión a la red eléctrica pública.

### 3.6.6 Modulo programable

Para completar la automatización del sistema es necesario utilizar un dispositivo el cual se pueda parametrizar de acuerdo a las necesidades en el lugar de estudio en este caso un módulo programable, mediante este módulo se puede calibrar parámetros manipulables en cuanto a los sensores y de esta manera accionar los relés que activaran y desactivaran el sistema tanto del consumo fotovoltaico como de la red.

En el anexo 20 se muestra el código de programación que se utilizó para el funcionamiento del sistema.



**Figura. 53** Modulo Programable

### 3.7 Esquema eléctrico

En la figura 54 se muestra el esquema de conexión en cuanto a las protecciones y dispositivos de accionamiento.

Como elementos implementados se seleccionó dos interruptores termo magnéticos de 40 A a 110 V, dos contactores de 40 A a 110 v que cuenta con un contacto normalmente cerrado y un normalmente abierto, dichos contactores serán accionados mediante la utilización de relés de acción rápida de 5 V.

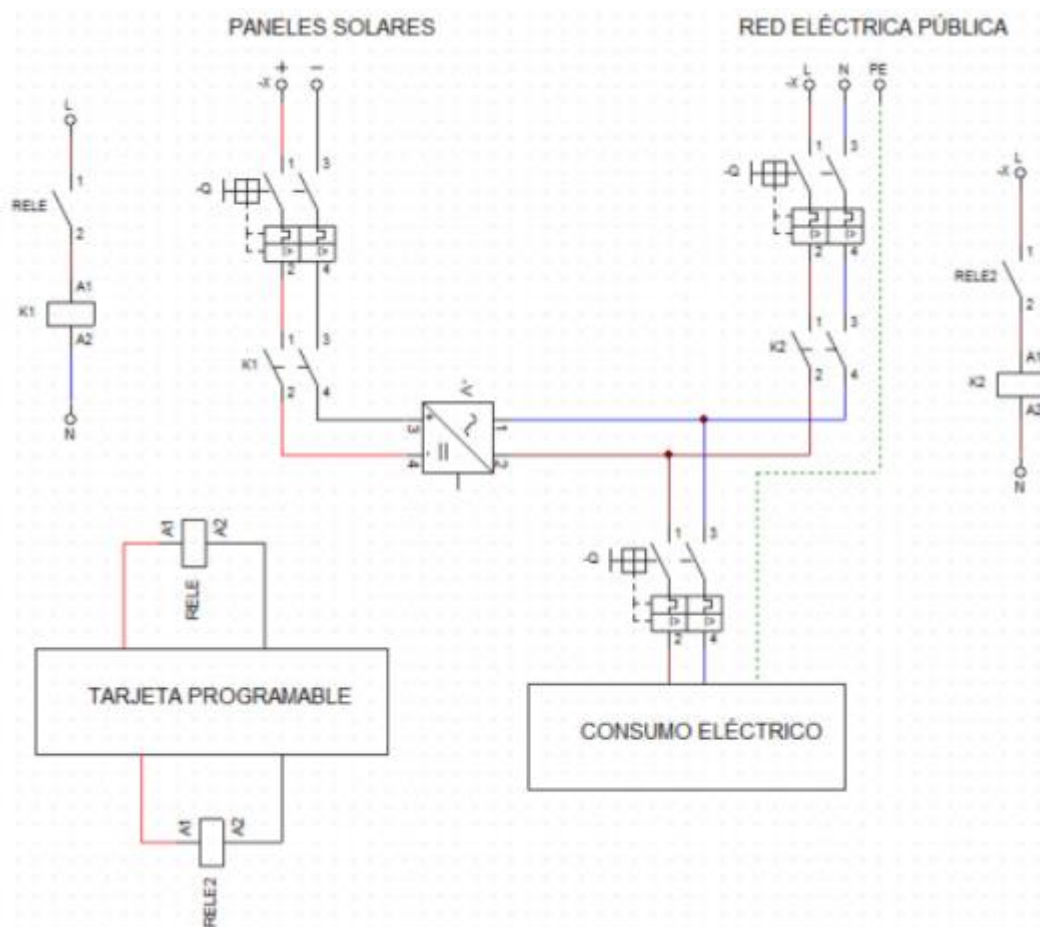


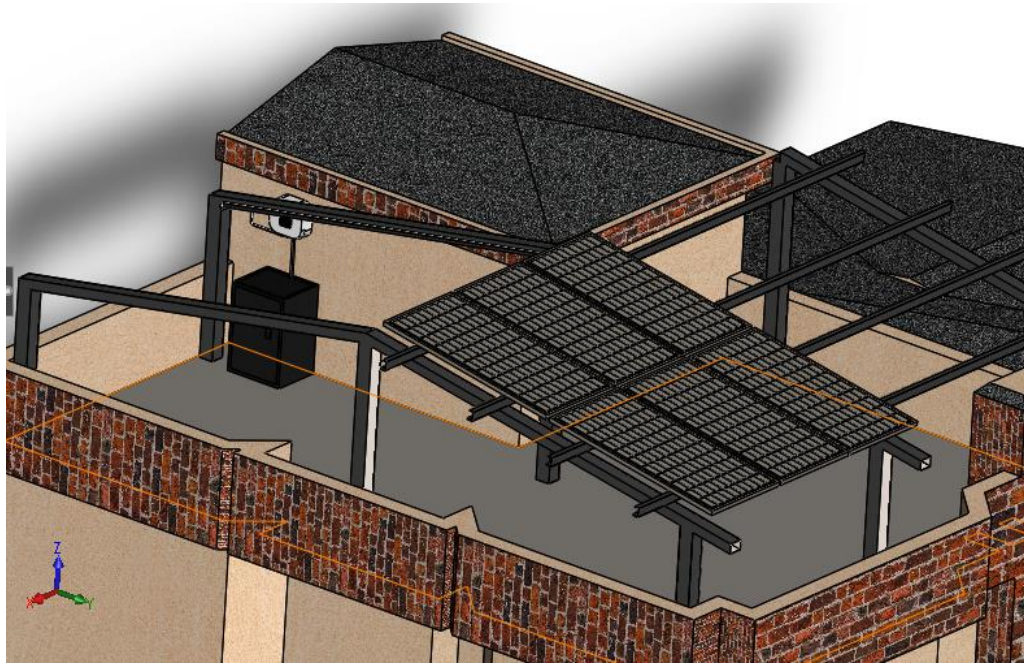
Figura. 54 Esquema eléctrico

### 3.8 Modelado 3D del sistema

Mediante el uso de software en modelación de objetos en 3D se realizó una proyección de instalación del proyecto en el lugar de estudio determinando así el

material necesario en cuanto a la longitud necesaria de cable para la conexión y tubería para el cableado eléctrico del sistema.

En la figura 55 se muestra el modelado de los instrumentos a utilizarse, mientras que en el Anexo 22 se verifica las mediciones acotadas para determinar los valores requeridos.



**Figura. 55 Modelado 3D del sistema**

Mediante este análisis se determinó que se necesita 13.5 m de tubería y cable solar para realizar la instalación del sistema.

### **3.8 Análisis del presupuesto**

A continuación, se presenta la parte económica del proyecto de investigación, la cual es diseñada correspondientemente a la demanda eléctrica de la vivienda de 7.5 kW al día de la cual como se suministrara el consumo eléctrico en el día de 3.5 kW y un almacenamiento dimensionado a la alimentación de 2.9 kW eléctrica en la noche, en el proyecto se utilizaron partes mecánicas como estructura de soporte, parte eléctrica como en cuanto a las protecciones generales y elementos de accionamiento.

Para realizar el análisis económico es necesario planear el costo del proyecto para lo cual se divide en materiales indirectos, materiales directos y mano de obra.



### 3.8.1 Materiales indirectos

En la tabla 14 se describe los materiales indirectos como: transporte y alimentación.

**Tabla 14 Materiales indirectos**

<b>Elemento</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Valor unitario</b>	<b>Valor total</b>
Transporte	10	5 \$	50 \$
Alimentación	7	2 \$	14 \$
<b>TOTAL</b>			<b>64 \$</b>

### 3.8.2 Materiales directos

En la tabla 15 se describe un listado de los elementos del sistema fotovoltaico, protecciones y elementos de accionamiento.

**Tabla 15 Materiales directos**

<b>Elemento</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Valor unitario</b>	<b>Valor total</b>
Panel solar	6	170 \$	1.020 \$
Batería	3	400 \$	1.200 \$
Inversor	1	640 \$	640 \$
Cable solar	15 (m)	2.8 \$	42 \$
Cable acometida	10 (m)	1.6 \$	16 \$
Conector 3 a 1	2	13 \$	26 \$
Relé	2	6 \$	12 \$
Sensor de voltaje	1	7 \$	7 \$
Sensor de corriente	1	5 \$	5 \$
Interruptor termo magnético general (Red)	1	10 \$	10 \$
Interruptor termo magnético general (Sistema fotovoltaico)	1	12 \$	12 \$
Contactador (Red)	1	15 \$	15 \$
Contactador (Sistema fotovoltaico)	1	15 \$	15 \$

Arduino	1	50 \$	50 \$
Estructura	1	200 \$	200 \$
Tubo IMC	15 (m)	4 \$	60 \$
<b>Total</b>		<b>3330 \$</b>	

### 3.8.3 Mano de obra

En la tabla 16 se describe el costo de mano de obra en cuanto a la fabricación de la estructura de los paneles solares y la instalación del sistema en general.

**Tabla 16 Mano de Obra**

<b>Detalle</b>	<b>Cantidad de días</b>	<b>Valor diario</b>	<b>Valor total</b>
Fabricación de la estructura	7	15	105 \$
Instalación del sistema	10	40 \$	400 \$
<b>Total</b>			<b>505 \$</b>

### 3.8.4 Presupuesto total

**Tabla 17 Presupuesto total**

<b>Detalle</b>	<b>Valor Total</b>
Materiales indirectos	64 \$
Materiales directos	3.330 \$
Mano de obra	505 \$
<b>TOTAL</b>	<b>3.899 \$</b>

Para la una futura implementación del sistema fotovoltaico que trabaje conjuntamente con la red eléctrica pública es de cuatro mil novecientos setenta y cinco dólares americanos (3.899 \$).

### 3.9 Análisis de impactos

La innovación de proyectos en cualquier campo siempre genera un impacto positivo con diversos aportes a la comunidad de los cuales se analizara el impacto tecnológico, económico, ambiental y social que aporta esta investigación.

#### 3.9.1 Impacto económico

La tabla 18 muestra una reducción económica en cuanto al pago mensual por el consumo eléctrico este análisis se lo realiza mediante el uso de los cargos tarifarios con respecto al consumo mensual normalizado, siendo evidente que la reducción del consumo eléctrico utilizando energías renovables beneficia al usuario al disminuir el costo económico según su rango de consumo.

**Tabla 18 Comparación de pago mensual**

Consumo mensual (kW)	USD kWh	Total (\$)
232	0.099	23
116	0.083	9.6

#### 3.9.2 Impacto tecnológico

El impacto que genera esta investigación es de gran aportación tecnológica ya que se menciona el uso de sistemas de automatización que se están aplicando en el campo de la domótica actual como lo es el uso de tarjetas programables las cuales ha evolucionado para la comodidad y facilidad en su manejo, esto beneficia en cuanto a la creación de nuevos proyectos sin dejar de lado que facilita el uso de sensores y dispositivos de control para la automatización, adicionalmente se incrementa el conocimiento y datos de estudio en cuanto al campo de generación de energías renovables de uso residencial.

#### 3.9.3 Impacto ambiental

El desarrollo de proyectos que implican la utilización de energías renovables extiende el campo aplicativo, da la apertura al crecimiento de estas investigaciones

e incentiva a la población a implementar este tipo de opciones de generación de energía eléctrica que están en crecimiento y cada día evolucionan más, y de esta manera tratar de reducir los impactos ambientales negativos que se producen al utilizar energías convencionales las cuales causan varios daños como lo es las emisiones de carbono, destrucción y daños a ecosistemas para obtener combustibles fósiles entre otras.

### **3.10 Conclusiones**

- El estudio realizado mediante la utilización del analizador de redes en la residencia como lugar de análisis dio a conocer los parámetros necesarios para el dimensionamiento de los elementos eléctricos a utilizarse ya que mediante este se determinó valores reales de voltajes, corrientes y potencias en la vivienda.
- Se logró establecer una comparación entre datos de distintas fuentes de información las cuales ofrecen valores de radiación solar para proyectos de generación fotovoltaica siendo así estas el atlas solar ecuatoriano, software de simulación en cuanto proyectos de pre factibilidad y una estación meteorológica fija en este caso datos del INAMHI – IZOBAMBA como consecuente se tiene que el mes de agosto tiene el mayor índice de radiación solar en el año con un total de  $6.68 W/m^2$ .
- El análisis del sistema mediante la simulación dio a conocer la correcta sincronización entre el suministro de la red eléctrica pública y el sistema renovable la cual es de vital importancia para el correcto funcionamiento en la vinculación de estos.

## 4 CONCLUSIONES GENERALES

- Se define a la residencia por medio del consumo eléctrico como usuario clase C el cual está en un rango de 151 kW a 250 kW de consumo mensual, para el caso de estudio se tomó en cuenta un círculo familiar de 4 personas con un total de consumo de 232 kW estos datos fueron monitoreados con un analizador de redes en Pandemia por COVID-19, por lo cual se debe tomar en cuenta que el círculo familiar se encontraba las 24 horas del día en el hogar teniendo así un consumo adicional al que se podría darse post pandemia.
- Mediante la presente investigación en cuanto al recurso energético se espera que esta base de datos sea utilizada para futuros proyectos de autoconsumo eléctrico mediante energías renovables siendo así que los rangos de variación entre el mes con menor y mayor radiación solar varía de 5.4 kW/m<sup>2</sup> y 7.7 kW/m<sup>2</sup> datos necesario que afirman que el lugar de estudio y sus alrededores tienen un gran potencial energético.
- La variación de la carga registrada dio a conocer que se necesita abastecer 232 kW al mes en la residencia, mientras que el sistema fotovoltaico genera un promedio de 350 kW en el mes con mejor radiación obteniendo así un rango de generación adecuado para cubrir la demanda eléctrica en el lugar de estudio e ir promoviendo un autoconsumo, al ser un sistema evolutivo se puede cubrir el consumo domiciliario desde un 50% reduciendo el valor a cancelar en la facturación mensual.

## **5 RECOMENDACIONES**

- La utilización de nuevas tecnologías las cuales reduzca la demanda eléctrica en el hogar teniendo así como novedosas alternativas sistemas de generación fotovoltaica, colectores solares e incluso diseños arquitectónicos que mejoran la luminosidad de residencias tienden a disminuir el consumo eléctrico utilizado que abastece la CFE.
- Ampliar estudios de autoconsumo mediante la utilización de energías renovables incentiva a la generación de nuevos proyectos que se encuentran dirigidos a este campo los cuales incrementan la información necesaria para poder realizar proyectos con mayor eficiencia y promover el uso de energías renovables.
- Incrementar los estudios en cuanto a automatización de sistemas de generación eléctrica mediante fuentes renovables que puedan trabajar conjuntamente con la red eléctrica pública promueve la idea de un autoconsumo eléctrico renovable el cual pueda acoplarse de manera paulatina satisfaciendo principalmente las cargas con mayor consumo.

## REFERENCIAS

- [1] SENESCYT, «EDUCACION SUPERIOR,» 20 10 2008. [En línea]. Available: [https://www.educacionsuperior.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2012/07/Normas\\_constitucionales.pdf](https://www.educacionsuperior.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2012/07/Normas_constitucionales.pdf). [Último acceso: 8 9 2020].
- [2] S. Edgar, «RepositorioUTC,» 12 2015. [En línea]. Available: <http://repositorio.utc.edu.ec/bitstream/27000/6164/1/MUTC-000353.pdf>. [Último acceso: 2 09 2020].
- [3] F. Acuña, «Repositorio UTC,» 12 2013. [En línea]. Available: <http://repositorio.utc.edu.ec/bitstream/27000/6062/1/MUTC-000171.pdf>. [Último acceso: 15 4 2020].
- [4] E. Cevallos, «Repositorio UTC,» 11 2015. [En línea]. Available: <http://repositorio.utc.edu.ec/bitstream/27000/6161/6/MUTC-00343.pdf>. [Último acceso: 18 4 2020].
- [5] SECRETARIA NACIONAL DE PLANIFICACION Y DESARROLLO, «GOBIERNO ECUATORIANO,» 2017. [En línea]. Available: [https://www.planificacion.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2017/10/PNBV-26-OCT-FINAL\\_0K.compressed1.pdf](https://www.planificacion.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2017/10/PNBV-26-OCT-FINAL_0K.compressed1.pdf). [Último acceso: 17 4 2020].
- [6] CONELEC, «Estudio y gestión de la demanda eléctrica,» Ecuador, 2013.
- [7] E. S. U. Arizaga, «“EFICIENCIA DEL CONSUMO ELECTRICO EN EL SECTOR RESIDENCIAL URBANO DE CUENCA”,» Cuenca, 2015.
- [8] I. L. Aguerrea, «“MODELO DE SIMULACIÓN DEL CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA DOMÉSTICA”,» Pamplona, 2015.
- [9] A. González, D. Borges y M. Martínez, «Ingeniería Energética,» 12 2007. [En línea]. Available: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=329127738004>. [Último acceso: 23 9 2020].

- [10] J. A. Ortiz Velázquez, G. Bueno y J. J. Arama Coronado, «redalyc,» 2017. [En línea]. Available: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=11149081009>. [Último acceso: 9 7 2020].
- [11] J. Molina Ruiz y I. M. Ortiz Escribano, «Redalyc,» 2012. [En línea]. Available: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=40726731004>. [Último acceso: 24 9 2020].
- [12] A. G. Peira, «espamciencia,» 21 11 2014. [En línea]. Available: [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1815-59442011000100003](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1815-59442011000100003). [Último acceso: 15 9 2020].
- [13] A. E. Estrada, «Revistas.usb,» 20 11 2011. [En línea]. Available: <https://revistas.usb.edu.co/index.php/IngUSBmed/article/view/254/168>. [Último acceso: 24 9 2020].
- [14] S. X. G. Cabascango, «UPS,» 4 2013. [En línea]. Available: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/12179/1/UPS-KT01251.pdf>. [Último acceso: 8 9 2020].
- [15] E. Sierra Gil, A. Basulto Espinosa y M. Rodríguez Medina , «INGE CUC,» 12 2014. [En línea]. Available: <http://revistascientificas.cuc.edu.co/index.php/ingecuc/article/view/487>. [Último acceso: 25 9 2020].
- [16] J. E. Alvarado, «Sector Electricidad,» 30 04 2017. [En línea]. Available: <http://www.sectorelectricidad.com/17597/carga-demanda-y-energia-electrica-conceptos-fundamentales-para-la-distribucion-de-electricidad/>. [Último acceso: 01 12 2020].
- [17] CONELEC, «CALIDAD DEL SERVICIO ELECTRICO DE DISTRIBUCION,» 23 05 2001. [En línea]. Available: <https://www.regulacionelectrica.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2016/02/Regulacion-No.-CONELEC-004-01.pdf>. [Último acceso: 12 06 2020].



- [18] J. M. A. Atarihuana, «Flacsoandes,» 03 2014. [En línea]. Available: <https://repositorio.flacsoandes.edu.ec/bitstream/10469/7545/2/TFLACSO-2014JMAA.pdf>. [Último acceso: 22 9 2020].
- [19] Factor Energia, «Factor Energia,» 27 01 2020. [En línea]. Available: <https://www.factorenergia.com/es/blog/autoconsumo/energia-solar/>. [Último acceso: 15 08 2020].
- [20] Energya VM, «EnergyaVM,» 19 10 2020. [En línea]. Available: <https://www.energyavm.es/el-generador-eolico-como-funciona-y-que-usos-tiene/>. [Último acceso: 24 12 2020].
- [21] ENDESA, «Fundacion Endesa,» 01 09 2019. [En línea]. Available: <https://www.fundacionendesa.org/es/centrales-renovables/a201908-central-de-biomasa>. [Último acceso: 25 12 2020].
- [22] TWENERGY, «TWENERGY,» 18 10 2019. [En línea]. Available: <https://twenergy.com/energia/energia-geotermica/que-es-la-energia-geotermica-que-aplicaciones-tiene-108/>. [Último acceso: 27 12 2020].
- [23] X. Labandeira, P. Linares y K. Wurzburg, 6 2016. [En línea]. Available: <https://labandeira.eu/publicacions/wp06-2012.pdf>. [Último acceso: 25 9 2020].
- [24] Total Energies, «TotalEnergies,» 17 06 2020. [En línea]. Available: <https://www.totalenergies.es/es/pymes/blog/ventajas-energias-renovables>. [Último acceso: 30 12 2020].
- [25] G. Ruiz, «ERENOVBLE,» 08 09 2020. [En línea]. Available: <https://erenovable.com/energias-renovables-ventajas-y-desventajas/>. [Último acceso: 29 12 2020].
- [26] O. Planas, «Solar Energia,» 09 04 2020. [En línea]. Available: <https://solar-energia.net/energia-solar-fotovoltaica/elementos/convertidores-corriente>. [Último acceso: 12 10 2020].
- [27] D. Solar, «Damia Solar,» 7 03 2019. [En línea]. Available: [https://www.damiasolar.com/actualidad/blog/articulos-sobre-la-energia-solar-y-sus-componentes/que-son-los-paneles-solares-monocristalinos\\_1](https://www.damiasolar.com/actualidad/blog/articulos-sobre-la-energia-solar-y-sus-componentes/que-son-los-paneles-solares-monocristalinos_1). [Último acceso: 24 9 2021].

- [28] M. Hilcu, «Otovo,» 10 06 2021. [En línea]. Available: <https://www.otovo.es/blog/placas-solares/placas-solares-policristalinas/>. [Último acceso: 9 9 2021].
- [29] Cambio Energético, «Cambio Energético,» 17 8 2021. [En línea]. Available: <https://www.cambioenergetico.com/blog/tipos-de-paneles-solares-fotovoltaicos/>. [Último acceso: 06 10 2021].
- [30] Ingeoexpert, «Ingeoexpert,» 15 3 2019. [En línea]. Available: <https://ingeoexpert.com/2019/03/15/que-es-un-aerogenerador-y-como-funciona/>. [Último acceso: 14 7 2021].
- [31] Structuralia, «Structuralia,» 16 7 2018. [En línea]. Available: <https://blog.structuralia.com/aerogeneradores-de-eje-vertical-y-horizontal-tipos-ventajas-e-inconvenientes>. [Último acceso: 11 4 2021].
- [32] A. Aguirre, «gstriatum,» 10 11 2012. [En línea]. Available: <https://gstriatum.com/2012/06/22/tipos-de-turbinas-eolicas-o-aerogeneradores/>. [Último acceso: 8 10 2021].
- [33] Areatecnologia, «Areatecnologia,» 10 12 2015. [En línea]. Available: <https://www.areatecnologia.com/mecanismos/turbinas-hidraulicas.html>. [Último acceso: 17 2 2021].
- [34] O. Planas, «Solar Energia,» 16 11 2020. [En línea]. Available: <https://solar-energia.net/energias-renovables/energia-hidraulica/turbinas-hidraulicas>. [Último acceso: 18 5 21].
- [35] V. Yepes, «Universidad Politecnica de Valencia,» 16 1 2017. [En línea]. Available: <https://victoryepes.blogs.upv.es/2017/01/16/turbina-francis/>. [Último acceso: 12 05 2021].
- [36] Tecnologia E internet, «Tecnologypoint,» 22 6 2020. [En línea]. Available: <https://www.tecnologypoint.com/turbinas-kaplan/>. [Último acceso: 10 8 2021].
- [37] Auto Solar, «AutoSolar,» 24 07 2018. [En línea]. Available: <https://autosolar.pe/blog/aspectos-tecnicos/que-es-un-regulador-de-carga-caracteristicas-y-tipos>. [Último acceso: 14 11 2020].

- [38] R. Serrano, «TRITEC INTERVENTO,» 22 10 2017. [En línea]. Available: <https://tritec-intervento.cl/diferencia-entre-controlador-de-carga-pwm-y-mppt/>. [Último acceso: 30 9 2021].
- [39] AUTO SOLAR, «AUTO SOLAR,» 01 07 2021. [En línea]. Available: <https://autosolar.pe/blog/aspectos-tecnicos/que-es-un-regulador-de-carga-caracteristicas-y-tipos>. [Último acceso: 12 10 2021].
- [40] TECNOSOL, «Tecnosolab,» 26 08 2016. [En línea]. Available: <https://tecnosolab.com/noticias/baterias-para-energia-solar-tipos/>. [Último acceso: 14 12 2020].
- [41] ARCONEL, «REGULACION nro ARCONEL 003/18,» 22 10 2018. [En línea]. Available: <https://www.regulacionelectrica.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2019/01/Codificacion-Regulacion-No.-ARCONEL-003-18.pdf>. [Último acceso: 12 5 2020].
- [42] A. Varela y S. Ron, «PUCE,» 31 01 2019. [En línea]. Available: <https://bioweb.bio/faunaweb/mammaliaweb/GeografiaClima/>. [Último acceso: 12 12 2020].
- [43] V. Gómez , C. Hernández y E. Rivas, «CONICYT,» 4 2018. [En línea]. Available: <https://scielo.conicyt.cl/pdf/infotec/v29n2/0718-0764-infotec-29-02-00089.pdf>. [Último acceso: 25 9 2020].
- [44] VOLT INGENIERÍA, 15 4 2016. [En línea]. Available: <https://www.voltingenieria.com.mx/single-post/2016/04/15/Medidor-Bidireccional>. [Último acceso: 8 9 2020].
- [45] EEQ, «EMPRESA ELECTRICA QUITO,» 11 6 2019. [En línea]. Available: [https://www.eeq.com.ec:8443/nosotros/comunicamos/noticias/-/asset\\_publisher/PDd0RO7ISu5d/content/clientes-con-sistemas-fotovoltaicos-conectados-a-la-red-socios-estrategicos-para-la-eeq;jsessionId=60A2FFB3C8F4263A8371BFA68EACAC42?controlPanelCategory=portl](https://www.eeq.com.ec:8443/nosotros/comunicamos/noticias/-/asset_publisher/PDd0RO7ISu5d/content/clientes-con-sistemas-fotovoltaicos-conectados-a-la-red-socios-estrategicos-para-la-eeq;jsessionId=60A2FFB3C8F4263A8371BFA68EACAC42?controlPanelCategory=portl). [Último acceso: 8 9 2020].
- [46] MAESWELL, 10 6 2017. [En línea]. Available: <https://app.maeswell.com/2017/06/analizador-de-redes-electricas/>. [Último acceso: 8 9 2020].

- [47] «ACAPMI,» 2017.
- [48] MNRE Y TERI, «dsisolar,» 17 4 2019. [En línea]. Available: <http://www.dsisolar.com/info/7-most-popular-solar-pv-system-design-and-simu-35210494.html>. [Último acceso: 25 9 2020].
- [49] INEC, «Información ambiental en Hogares,» Ecuador, 2012.
- [50] O. Planas, «Solar Energía,» 17 05 2020. [En línea]. Available: <https://solar-energia.net/que-es-energia-solar/panel-solar>. [Último acceso: 17 07 2020].

# ANEXO 1

## Panel BYD-385-M6K-36



PVsyst V7.2.4

### PV module - BYD-385-M6K-36

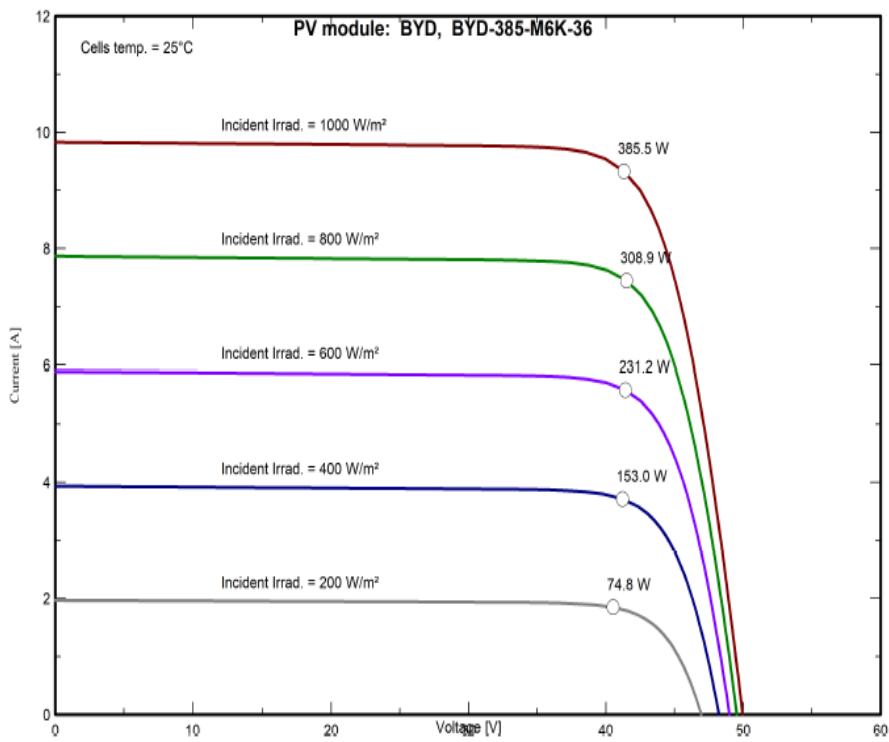
Manufacturer		Commercial data	
Model	BYD-385-M6K-36	Availability :	Prod. Since 2020
		Data source :	Datasheets 2020
Pnom STC power (manufacturer)	385 Wp	Technology	Si-poly
Module size (W x L)	0.992 x 1.962 m <sup>2</sup>	Rough module area (Amodule)	1.95 m <sup>2</sup>
Number of cells	1 x 72	Sensitive area (cells) (Acells)	1.75 m <sup>2</sup>
<b>Specifications for the model (manufacturer or measurement data)</b>			
Reference temperature (TRef)	25 °C	Reference irradiance (GRef)	1000 W/m <sup>2</sup>
Open circuit voltage (Voc)	50.0 V	Short-circuit current (Isc)	9.83 A
Max. power point voltage (Vmpp)	41.4 V	Max. power point current (Impp)	9.32 A
=> maximum power (Pmpp)	385.5 W	Isc temperature coefficient (mulsc)	3.9 mA/°C
<b>One-diode model parameters</b>			
Shunt resistance (Rshunt)	500 Ω	Diode saturation current (IoRef)	0.019 nA
Series resistance (Rserie)	0.30 Ω	Voc temp. coefficient (MuVoc)	-140 mV/°C
Specified Pmax temper. coeff. (muPMaxR)	-0.34 %/°C	Diode quality factor (Gamma)	1.00
		Diode factor temper. coeff. (muGamma)	0.000 1/°C
<b>Reverse Bias Parameters, for use in behaviour of PV arrays under partial shadings or mismatch</b>			
Reverse characteristics (dark) (BRev)	3.20 mA/V <sup>2</sup>	(quadratic factor (per cell))	
Number of by-pass diodes per module	3	Direct voltage of by-pass diodes	-0.7 V
<b>Model results for standard conditions (STC: T=25 °C, G=1000 W/m<sup>2</sup>, AM=1.5)</b>			
Max. power point voltage (Vmpp)	41.3 V	Max. power point current (Impp)	9.34 A
Maximum power (Pmpp)	385.5 Wp	Power temper. coefficient (muPmpp)	-0.34 %/°C
Efficiency(/ Module area) (Eff_mod)	19.8 %	Fill factor (FF)	0.785
Efficiency(/ Cells area) (Eff_cells)	22.0 %		

# ANEXO 1

Panel BYD-385-M6K-36



PVsyst V7.2.4



## ANEXO 2

### Inversor Fronius International Primo GEN24 5.0 Plus



**PVsyst V7.2.4**

#### Inverter - Primo GEN24 5.0 Plus

<p><b>Manufacturer</b> Model</p>	<p>Fronius International Primo GEN24 5.0 Plus</p>	<p><b>Commercial data</b> Availability : Data source : <b>Remarks</b> Tecnología: transformerless Protección: IP 66 Control: no display, status LEDs <b>Sizes</b> Width Height Depth Weight</p>	<p>Prod. Since 2019 Manufacturer 2019</p>
<p><b>Input characteristics (PV array side)</b> Operating mode Minimum MPP Voltage (Vmin) Maximum MPP Voltage (Vmax) Absolute max. PV Voltage (Vmax array) <b>Multi MPPT capability</b> Number of MPPT inputs</p>		<p>Nominal PV Power (Pnom DC) Maximum PV Power (Pmax DC) Power Threshold (Pthresh.) Behaviour at Vmin/Vmax Behaviour at Pnom</p>	
<p><b>Output characteristics (AC grid side)</b> Grid voltage (Imax) Grid frequency</p>		<p>Nominal AC Power (Pnom AC) Maximum AC Power (Pmax AC) Nominal AC current (Inom AC)</p>	

ANEXO 2

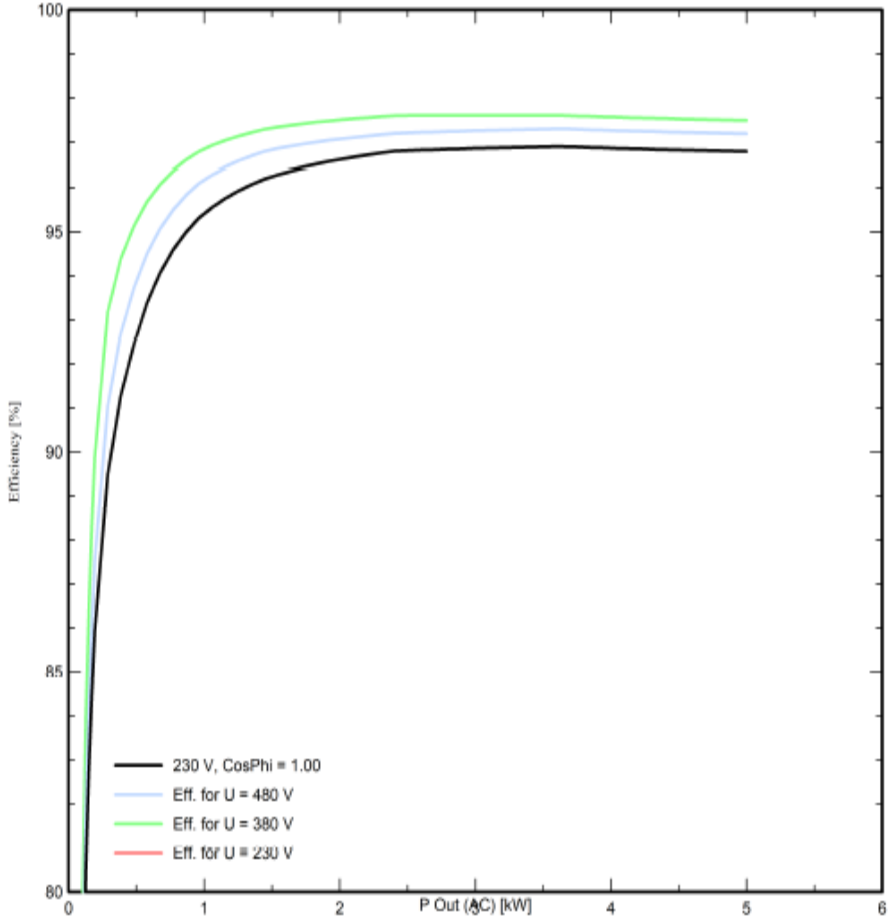
Inversor Fronius International Primo GEN24 5.0 Plus



PVsyst V7.2.4

Inverter - Primo GEN24 5.0 Plus

Input characteristics (PV array side)





### ANEXO 3

### Batería BYD B-Box PRO 10



### PVsyst V7.2.4

Modelo	B-Box PRO 10	Fabricante	BYD
Nombre de archivo	BYD_B_Box_PRO_10.BTR	Fuente datos	Extrapolation BYD C12_220Ah
Base de datos PVsyst original		Prod. desde 2017	

Tecnología   Batería completa  Por elemento

Categoría  ?

#### Parámetros básicos

Núm. de células en serie/en paralelo	<input type="text" value="16"/> <input type="text" value="4"/> es decir 64 células
Voltaje nominal	<input type="text" value="51.2"/> V
Capacidad en C10	<input type="text" value="208.00"/> Ah
Resistencia interna @ temp. ref.	<input type="text" value="5.28"/> mΩ <input type="checkbox"/>
Temperatura de referencia	<input type="text" value="20.0"/> °C <input type="checkbox"/>
Eficiencia coulombica	? <input type="text" value="95.3"/> %

#### Comportamiento en los límites

Voltaje de corte de carga	<input type="text" value="60.8"/> V ?
Voltaje de corte de descarga	<input type="text" value="32.0"/> V
Corriente de carga máxima	<input type="text" value="200.0"/> A
Corriente de descarga máxima	<input type="text" value="400.0"/> A
Temperatura mínima de carga	<input type="text" value="0.0"/> °C
Temperatura mínima de descarga	<input type="text" value="-20.0"/> °C

#### Info: Renormalización a C10

Hoja de datos Capacidad nominal  Ah

Definido para una tasa de descarga de  Horas

=>C10 correspondiente según modelo de Peukert **207 Ah** ?

#### Indicadores de batería llena

Energía almacenada en DOD	<input type="text" value="95"/> %	<b>10.3 kWh</b>
Energía total almacenada (6281 cidos)		<b>64.4 MWh</b>
Energía específica		<b>57 Wh/kg</b>
Peso específico		<b>18 kg/kWh</b>

### ANEXO 3

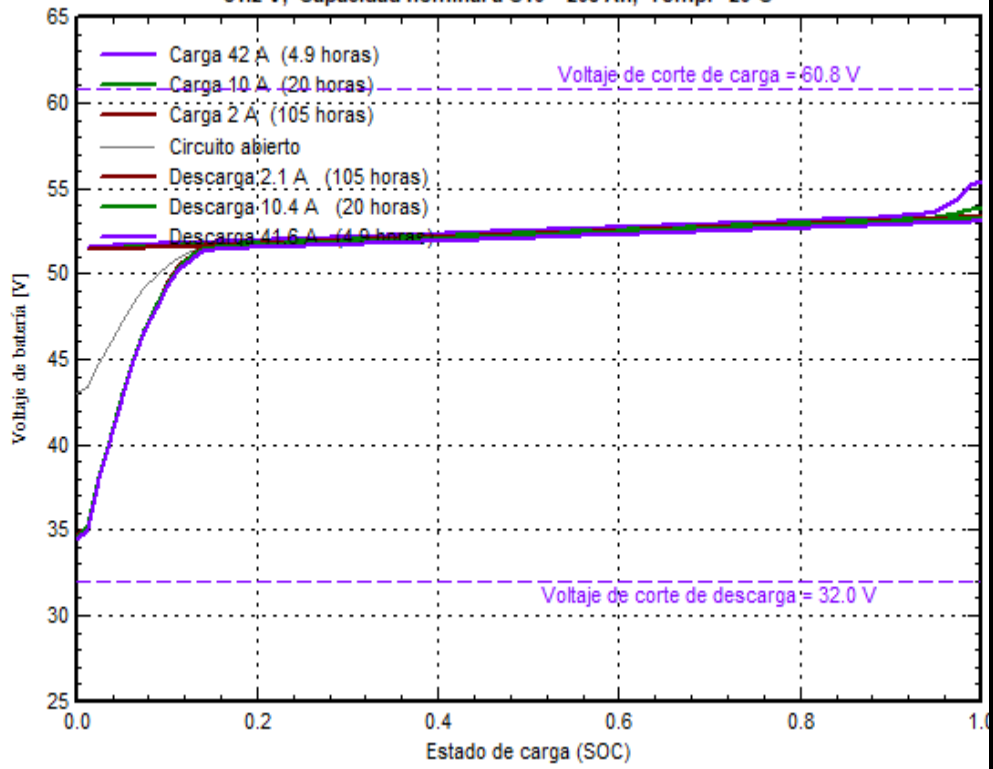
Batería BYD B-Box PRO 10



PVsyst V7.2.4

#### Bloque de batería : BYD, B-Box PRO 10

51.2 V, Capacidad nominal a C10 = 208 Ah, Temp.= 20°C



## ANEXO 4

### Interruptor Termomagnético 40A



## Ficha técnica del producto

Especificaciones



### Interruptor Termomagnético Easy9 2P 40A 4,5KA Curva C

EZ9F34240

Certificado : DC-E-S26-042.5 (C1) - IRAM

#### Principal

Distancia	Easy9
Aplicación del dispositivo	Distribución
Tipo de producto o componente	Disyuntor en miniatura
Modelo de dispositivo	Easy9 MCB
Poles	2P
Número de polos protegidos	2
Corriente nominal	40 A
Tipo de red	CA
Tipo de unidad de control	Térmico-magnético
Código de curva de disparo Ins	C
Poder de corte	4500 A Icn a 230 V CA 50/60 Hz conforme a IEC 60898-1 4500 A Icn a 400 V CA 50/60 Hz conforme a IEC 60898-1
Idoneidad para el seccionamiento	Sí conforme a IEC 60898-1

## ANEXO 4

### Interruptor Termomagnético 40A



#### Complementario

Frecuencia asignada de empleo	50/60 Hz
Tensión asignada de empleo	400 V CA 50/60 Hz
Límite de enlace magnético	5...10 x I <sub>n</sub>
[Ics] poder de corte en servicio	4,5 kA 100 % x I <sub>cn</sub> a 230 V CA 50/60 Hz conforme a IEC 60898-1
Tensión asignada de aislamiento	500 V CA 50/60 Hz conforme a IEC 60898-1
[Uimp] Tensión asignada de resistencia a los choques	4 kV conforme a IEC 60898-1
Indicación de contacto positivo	Sí
Tipo de control	Palanca de conmutación
Señalizaciones frontales	Sin
Modo de montaje	Clip-on
Soporte de montaje	Carril DIN
Pasos de 9 mm	4
Alto	81 mm
Ancho	36 mm
Profundidad	66,5 mm
Color	Gris (RAL 7035)
Endurancia mecánica	10000 ciclos
Endurancia eléctrica	4000 ciclos
Conexiones - terminales	Terminal tipo túnel (arriba o abajo) 1...25 mm <sup>2</sup> flexible Terminal tipo túnel (arriba o abajo) 1...35 mm <sup>2</sup> rígido
Par de apriete	3,5 N.m arriba o abajo
Protección de fugas a tierra	Sin

## ANEXO 4

### Interruptor Termomagnético 40A



#### Entorno

Normas	IEC 60898-1
Certificados de producto	GOST-R
Grado de protección IP	IP20 conforme a IEC 60629
Grado de contaminación	2
Tropicalización	2
Humedad relativa	96 % a -25...50 °C
Temperatura ambiente de funcionamiento	-25...50 °C
Temperatura ambiente de almacenamiento	-40...85 °C

#### Unidades de embalaje

Tipo de Unidad de Paquete 1	PCE
Número de Unidades en el Paquete 1	1
Paquete 1 Peso	238,0 g
Paquete 1 Altura	7,6 cm
Paquete 1 ancho	3,6 cm
Paquete 1 Largo	8,5 cm
Tipo de Unidad de Paquete 2	P06
Número de Unidades en el Paquete 2	676
Paquete 2 Peso	145,69 kg
Paquete 2 Altura	20 cm
Paquete 2 Ancho	60 cm
Paquete 2 Largo	80 cm

## ANEXO 5

### Interruptor Termomagnético 32A



[TAG[ProdDatasheet]]  
[TAG[Characteristics]]

#### A9F73232

Interruptor Termomagnético - iC60N - Bipolar - 32A -  
Curva B - 10kA



#### [TAG[MainCharacteristics]]

Aplicación del dispositivo	Distribución
Distancia	Acti 9
Nombre del producto	Acti 9 IC60
Tipo de producto o componente	Disyuntor en miniatura
Modelo de dispositivo	IC60N
Número de polos	2P
Número de polos protegidos	2
Corriente nominal	32 A
Tipo de red	CA CC
Tipo de unidad de control	Térmico-magnético
Código de curva de disparo Ins	B
Poder de corte	6 kA Icu conforme a EN/IEC 60947-2 - 440 V CA 50/60 Hz 10 kA Icu conforme a EN/IEC 60947-2 - 380...415 V CA 50/60 Hz 20 kA Icu conforme a EN/IEC 60947-2 - 220...240 V CA 50/60 Hz 6000 A Icn conforme a EN / IEC 60898-1 - 400 V CA 50/60 Hz 36 kA Icu conforme a EN/IEC 60947-2 - 12...60 V CA 50/60 Hz 10 kA Icu conforme a EN/IEC 60947-2 - ↔ 125 V CC 36 kA Icu conforme a EN/IEC 60947-2 - 100 ... 133 V CA 50/60 Hz
Categoría de utilización	A conforme a EN 60947-2 A conforme a IEC 60947-2
Idoneidad para el seccionamiento	Si conforme a EN 60947-2 Si conforme a IEC 60947-2 Si conforme a EN 60898-1 Si conforme a IEC 60898-1
Normas	EN 60898-1 EN 60947-2 IEC 60898-1 IEC 60947-2

## ANEXO 5

### Interruptor Termomagnético 32A



#### [TAG[ComplemCharacteristics]]

Frecuencia asignada de empleo	50/60 Hz
Límite de enlase magnético	4 x in +/- 20 %
[Ios] poder de corte en servicio	6000 A 100 % x Icu comparable a EN 60898-1 - 400 V CA 50/60 Hz 4.5 kA 75 % x Icu conforme a IEC 60947-2 - 440 V CA 50/60 Hz 15 kA 75 % x Icu conforme a EN 60947-2 - 220...240 V CA 50/60 Hz 7.5 kA 75 % x Icu conforme a EN 60947-2 - 380...415 V CA 50/60 Hz 4.5 kA 75 % x Icu conforme a EN 60947-2 - 440 V CA 50/60 Hz 15 kA 75 % x Icu conforme a IEC 60947-2 - 220...240 V CA 50/60 Hz 7.5 kA 75 % x Icu conforme a IEC 60947-2 - 380...415 V CA 50/60 Hz 27 kA 75 % x Icu conforme a IEC 60947-2 - 12 ... 133 V CA 50/60 Hz 27 kA 75 % x Icu conforme a EN 60947-2 - 12 ... 133 V CA 50/60 Hz 6000 A 100 % x Icu comparable a IEC 60898-1 - 400 V CA 50/60 Hz 10 kA 100 % x Icu comparable a IEC 60947-2 - 72 ... 125 V CC 10 kA 100 % x Icu comparable a EN 60947-2 - 72 ... 125 V CC
Clase de limitación	3 conforme a EN 60898-1 3 conforme a IEC 60898-1
Tensión asignada de aislamiento	500 V CA 50/60 Hz conforme a IEC 60947-2 500 V CA 50/60 Hz conforme a EN 60947-2
[Uimp] Tensión asignada de resistencia a los choques	6 kV conforme a EN 60947-2 6 kV conforme a IEC 60947-2
Indicación de contacto positivo	Sí
Tipo de control	Palanca de conmutación
Señalizaciones frontales	Indicador deseng.
Modo de montaje	Fijo
Soporte de montaje	Carril DIN
Compatibilidad de juego de bar	Sí arriba o abajo
Pasos de 9 mm	4
Alto	85 mm
Ancho	36 mm
Profundidad	78.5 mm
Peso del producto	0.25 kg
Color	Blanco
Endurancia mecánica	20000 cycles
Endurancia eléctrica	10000 cycles
Conexiones - terminales	Terminal único, arriba o abajo rígido cable(s) 1...35 mm <sup>2</sup> max Terminal único, arriba o abajo flexible cable(s) 1...25 mm <sup>2</sup> max
Longitud de pelado de cable	14 mm arriba o abajo
Par de apriete	3.5 N.m arriba o abajo
Protección de fugas a tierra	Bloque independiente

## ANEXO 5

### Interruptor Termomagnético 32A



#### [TAG[EnvCharacteristics]]

grado de protección IP	IP20 conforme a EN 60529 IP20 conforme a IEC 60529
grado de contaminación	3 conforme a EN 60947-2 3 conforme a IEC 60947-2
categoría de sobretensión	IV
tropicalización	2 conforme a IEC 60068-1
humedad relativa	95 % ( 55 °C )
altitud máxima de funcionamiento	0...2000 m
temperatura ambiente de funcionamiento	-35...70 °C
temperatura ambiente de almacenamiento	-40...85 °C

#### Ofrecer Sostenibilidad

Estado de la oferta sostenible	Producto Green Premium
RoHS (código de fecha: YYYY)	Conforme - desde 0627 - Declaración de conformidad de Schneider Electric
Alcanzar	Referencia no contiene SVHC arriba del umbral
Perfil medioambiental del producto	Disponible
Instrucciones de fin de vida del producto	No necesita operaciones de reciclado específicas



## ANEXO 6

### Relé industrial RT



#### Características técnicas

##### 1. Construcción

Material de la caja y protección:  
plástico auto extingible, grado IP40

##### 2. Bobina

Duración de conexión: 100%  
AC:

Tipo	Tensión nominal AC	Resistencia $\Omega$ ( $\pm 10\%$ )
RT 1.2.012L	12V	18.5
RT 1.2.024L	24V	75
RT 1.2.110L	110V	1700
RT 1.2.230L	230V	7080
RT 1.3.024L	24V	75
RT 1.3.048L	48V	305
RT 1.3.110L	110V	1700
RT 1.3.230		
RT 1.3.230L;	230V	7080
RT 1.3.230.02L		

.2 2 NAC  
.3 3 NAC  
L LED  
.02 Material de contactos: AgNi/AU 5 $\mu$ m

Frecuencia nominal: 50/60 Hz  
Consumo nominal (50Hz): 2.8VA  
Tensión de desexcitación:  $\geq 0.15 \times U_N$   
Tolerancia admisible: 0.8 a 1.1  $\times U_N$

DC:

Tipo	Tensión nominal DC	Resistencia $\Omega$ ( $\pm 10\%$ )
RT 2.2.012L	12V	110
RT 2.2.024L	24V	430
RT 2.3.012L	12V	110
RT 2.3.024		
RT 2.3.024L;	24V	430
RT 2.3.024LD;		
RT 2.3.024.02LD		
RT 2.3.48L	48V	1750
RT 2.3.080L	80V	2700
RT 2.3.110	110V	9200
RT 2.3.220	220V	37000

.2 2 NAC  
.3 3 NAC  
L LED  
LD LED + diodo  
.02 Material de contactos: AgNi/AU 5 $\mu$ m

Consumo nominal (50Hz): 1.5W  
Tensión de desexcitación:  $\geq 0.1 \times U_N$   
Tolerancia admisible: 0.8 a 1.1  $\times U_N$

##### 3. Contactos

Tensiones de mando: máx. 250V (AC/DC)  
mín. 10V (AC/DC)  
AgNi  
AgNi/AU 5 $\mu$ m  
Intensidad nominal: máx. 10A  
mín. 5mA  
AgNi  
AgNi/AU 5 $\mu$ m  
Intensidad de cierre: mín. 2mA  
máx. 12A  
Capacidad de maniobra:  
AC1: máx. 2500VA (10A/250V AC)  
DC1: máx. 240W (10A/24V DC)  
AgNi  
AgNi/AU 5 $\mu$ m  
Resistencia: mín. 0.3W  
mín. 0.05W  
Frecuencia de mando:  $\leq 100\text{m}\Omega$  (100mA / 24V)  
máx. 20/min (nominal)  
máx. 300/min sin consumo

Material de contactos:  
standard AgNi  
.02 AgNi/AU 5 $\mu$ m

##### 4. General data

Tiempo de cierre  
AC: 12ms  
DC: 18ms  
Tiempo de apertura  
AC: 10ms  
DC: 7ms  
Durabilidad mecánica: 20  $\times 10^6$  man  
Durabilidad eléctrica:  
nominal 20  $\times 10^4$   
cos  $\phi$ , DC: según diagrama  
Vibration resistance: 5g (10 to 150Hz)  
Shock resistance: 10g / 5g (NO/NC)

##### 5. Aislamiento

Clase de aislamiento (DIN / VDE 110) C250  
Rigidez dieléctrica:  
bobina - contacto 2500 VAC  
contactos adyacentes 1500 VAC  
contactos abiertos 2000 VAC

##### 6. Condiciones ambientales

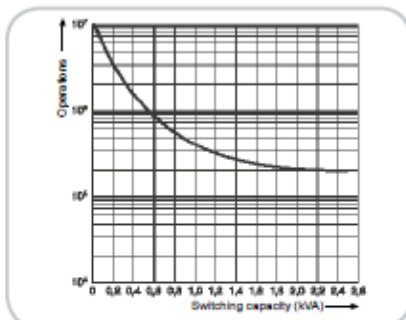
Temperatura ambiente:  
AC: -40 a +65°C  
DC: -40 a +70°C  
(según IEC 68-1)  
Temperatura de almacenaje: -40 a +85°C  
Grado de polución: 2 (según IEC 684-1)

# ANEXO 6

## Relé industrial RT

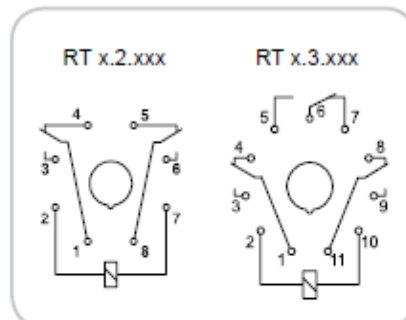


### Reduction factors

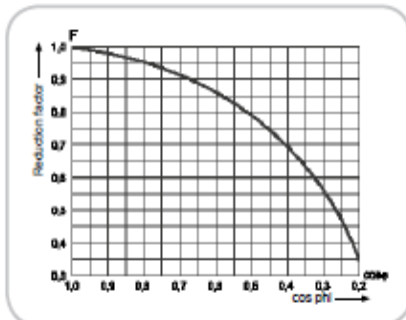


Reduccion de durabilidad eléctrica dependiente de la corriente

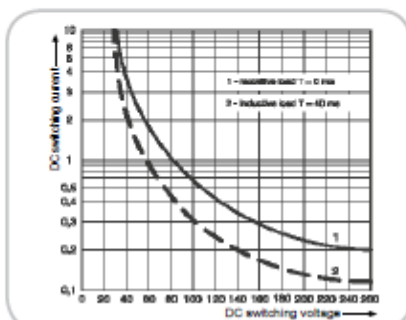
### Connections



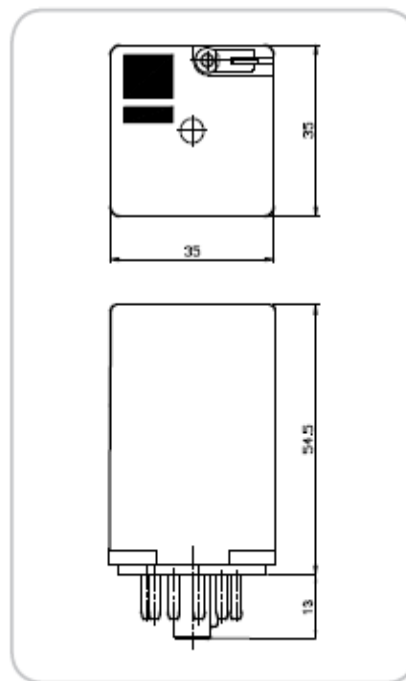
### Dimensiones



Reduccion de durabilidad eléctrica dependiente de la cos phi



Reduccion de capacidad de maniobra dependiente de la DC tensión



## ANEXO 7

Calibre de cable eléctrico AWG (Ampacidad)



**ILUMEYCO SRL**  
SOLUCIONES ELECTRICAS Y DE ENERGIA  
SABANA LARGA NO. 160  
REPARTO OQUET, SANTIAGO REP. DOM.  
Tel: 809-583-4255  
Email: info@ilumeyco.com

**TABLA DE AMPACIDAD PARA CABLE DE COBRE Y ALUMINIO  
(AWG/ MCM)**

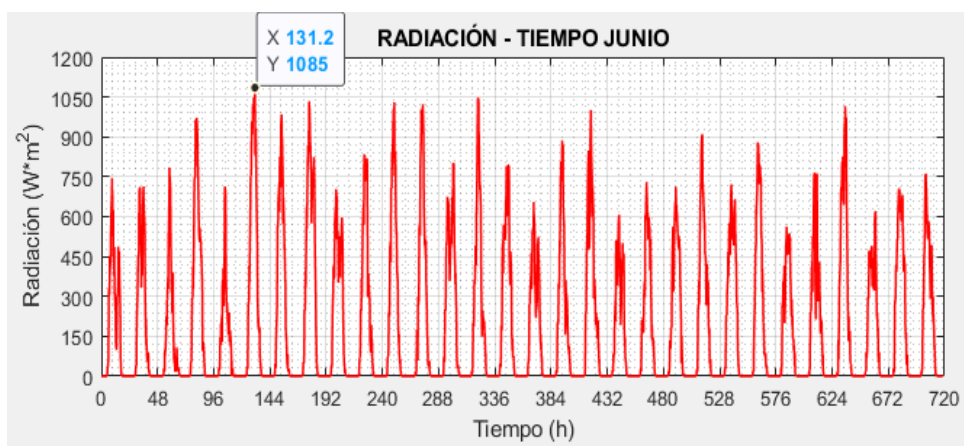
AMPACIDAD DE THW, THHN- THWN,XHHW A UNA TEMPERATURA DE 75 C.			NUMERO MAXIMO DE 3 ALAMBRES EN UNA TUBERIA METÁLICA		CAÍDA DE VOLTAJE POR CADA 100 PIES DE CABLE DE COBRE A UN 80% P.F	
			DIAMETRO DE LA TUBERIA METÁLICA			
CALIBRE DEL CABLE (AWG/MCM)	COBRE	ALUMINIO	THW (PULGADAS)	THHN- THWN,XHHW (PULGADAS)	CIRCUITO MONOFÁSICO (VOLTS/AMP)	CIRCUITO TRIFÁSICO (VOLTS/AMP)
14 AWG	20 A	-	1/2	1/2	0.4762	0.4167
12 AWG	25 A	20 A	1/2	1/2	0.3125	0.2632
10 AWG	35 A	30 A	1/2	1/2	0.1961	0.1677
8 AWG	50 A	40 A	3/4	1/2	0.1250	0.1087
6 AWG	65 A	50 A	1	3/4	0.0833	0.0714
4 AWG	85 A	65 A	1	1	0.0538	0.0463
2 AWG	115 A	90 A	1 1/4	1	0.0370	0.0323
1/0 AWG	150 A	120 A	1 1/2	1 1/4	0.0269	0.0231
2/0 AWG	175 A	135 A	1 1/2	1 1/2	0.0222	0.0196
3/0 AWG	200 A	155 A	2	1 1/2	0.0190	0.0163
4/0 AWG	230 A	180 A	2	2	0.0161	0.0139
250 MCM	255 A	205 A	2 1/2	2	0.0147	0.0128
300 MCM	285 A	230 A	2 1/2	2	0.0131	0.0114
350 MCM	310 A	250 A	2 1/2	2 1/2	0.0121	0.0106
400 MCM	335 A	270 A	3	2 1/2	0.0115	0.0091

## ANEXO 8

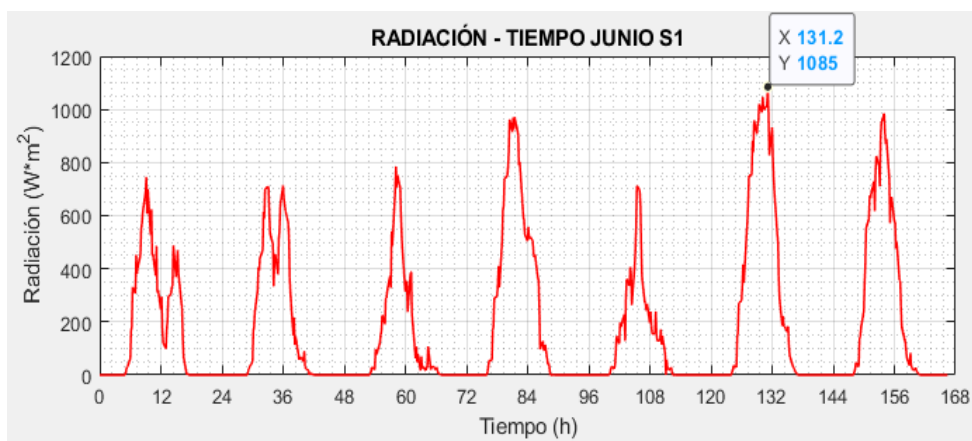
Radiación solar mensual y semanal del mes de Junio



### Radiación solar mensual (Junio)



### Radiación solar semanal (Junio)

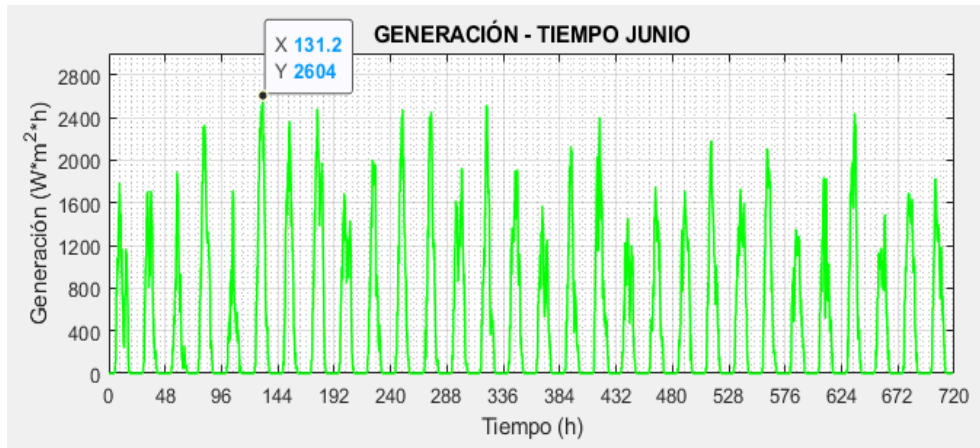


## ANEXO 9

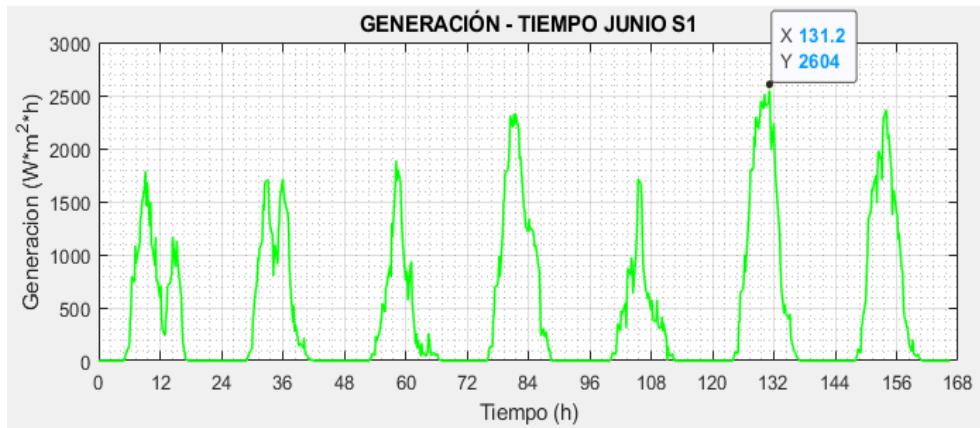
Generación solar del sistema mensual y semanal del mes de Junio



Generación solar mensual (Junio)



Generación semanal (Junio)

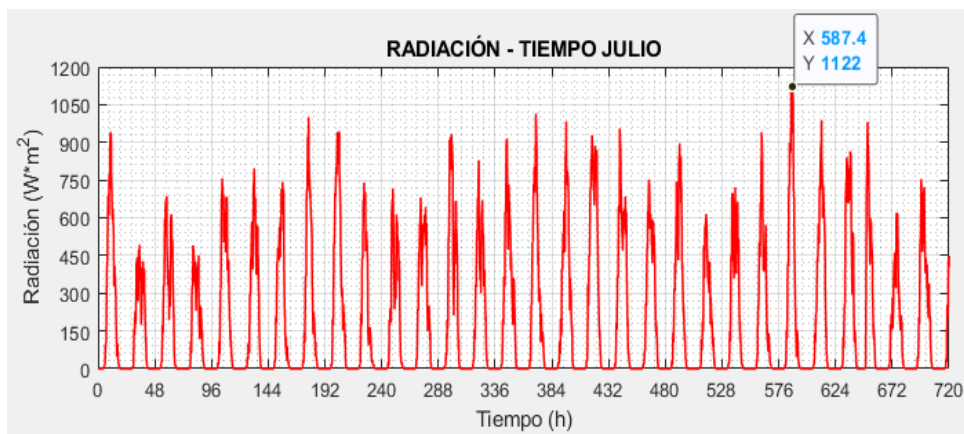


## ANEXO 10

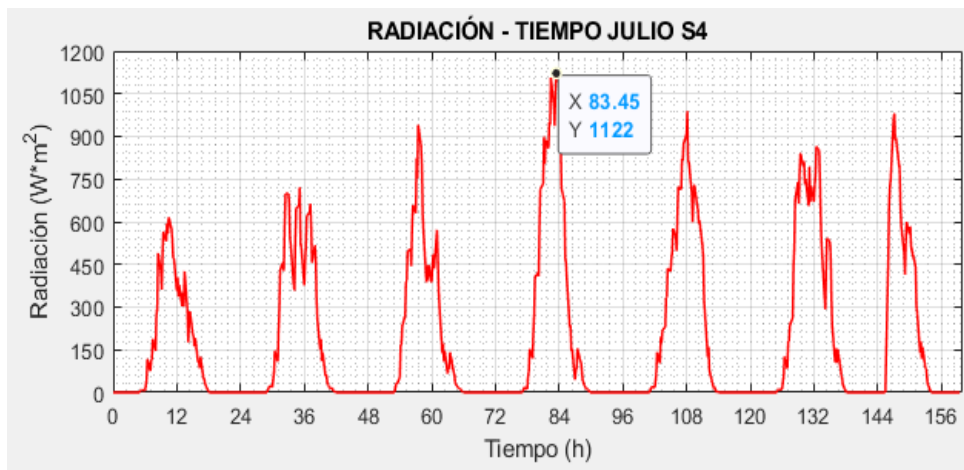
### Radiación solar mensual y semanal del mes de Julio



#### Radiación solar mensual (Julio)



#### Radiación solar semanal (Julio)

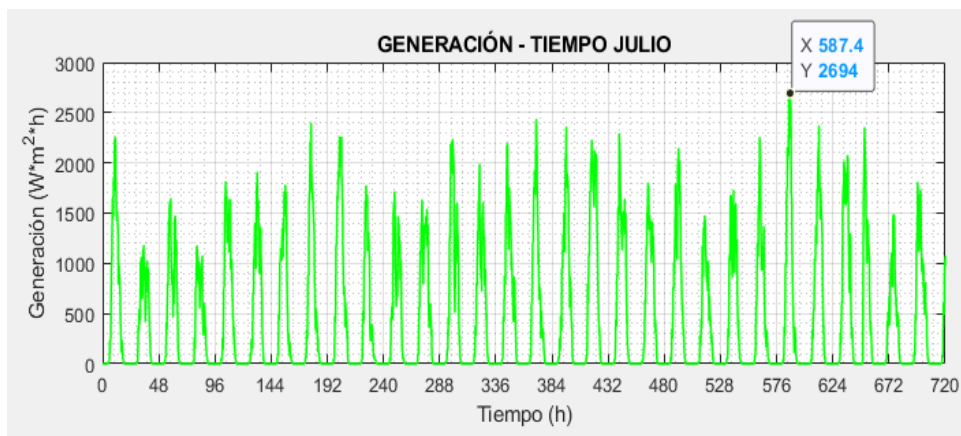


## ANEXO 11

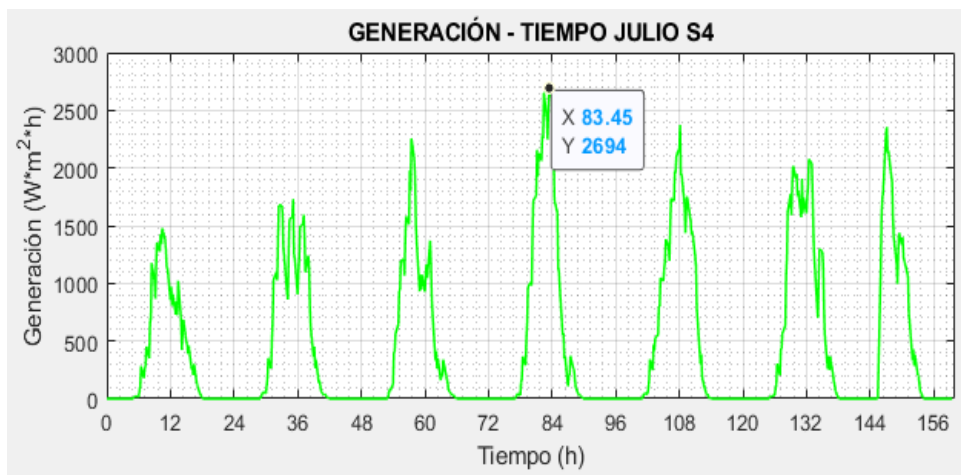
Generación solar del sistema mensual y semanal del mes de Julio



### Generación solar mensual (Julio)



### Generación solar semanal (Julio)

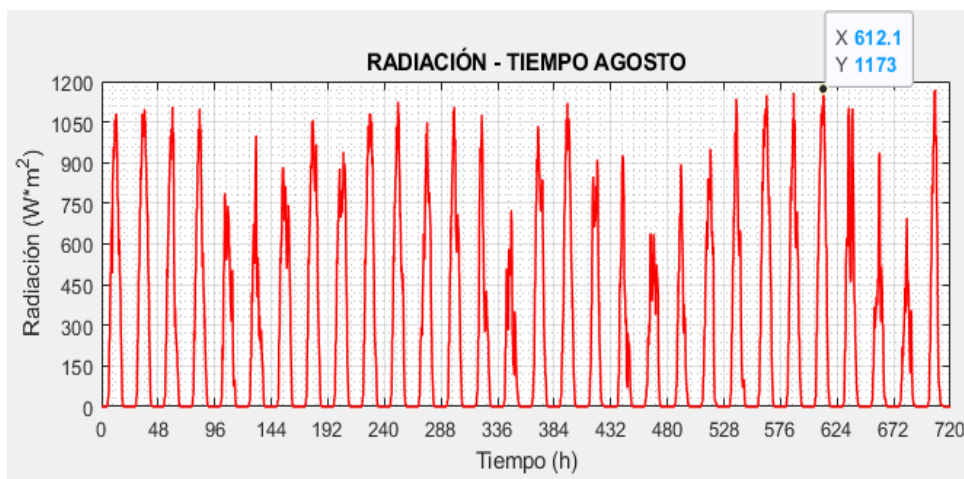


## ANEXO 12

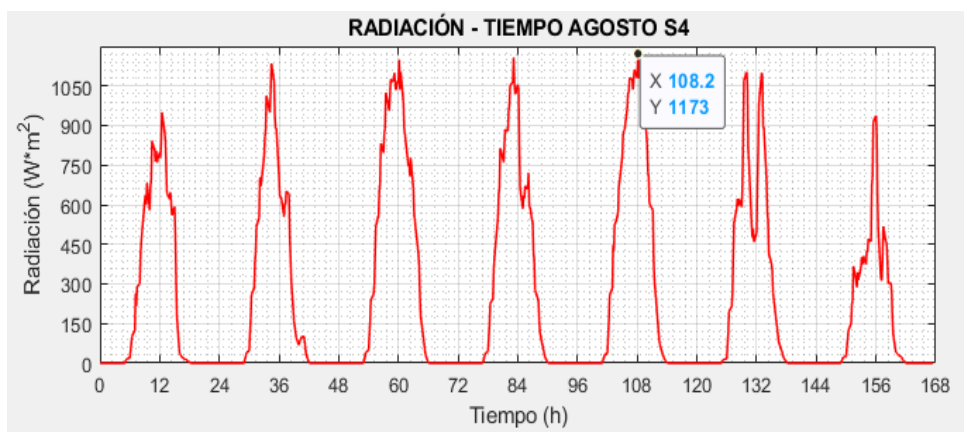
Radiación solar mensual y semanal del mes de Agosto



### Radiación solar mensual (Agosto)



### Radiación solar semanal (Agosto)



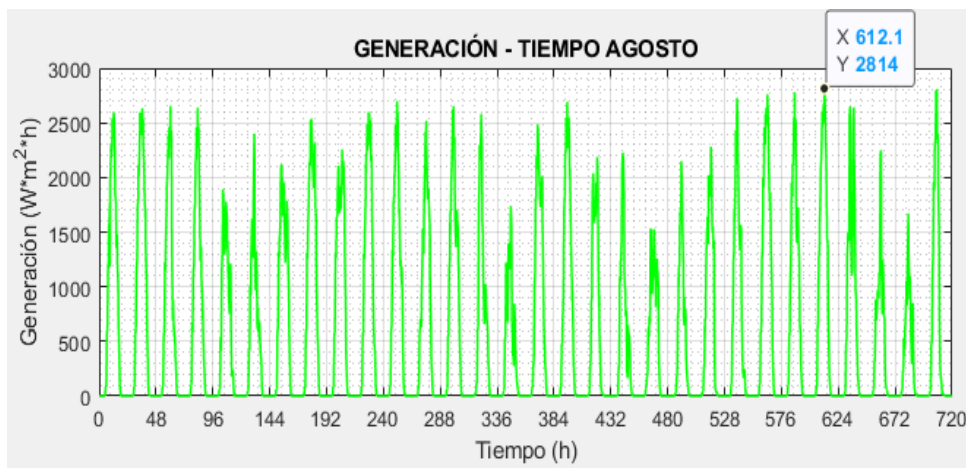


### ANEXO 13

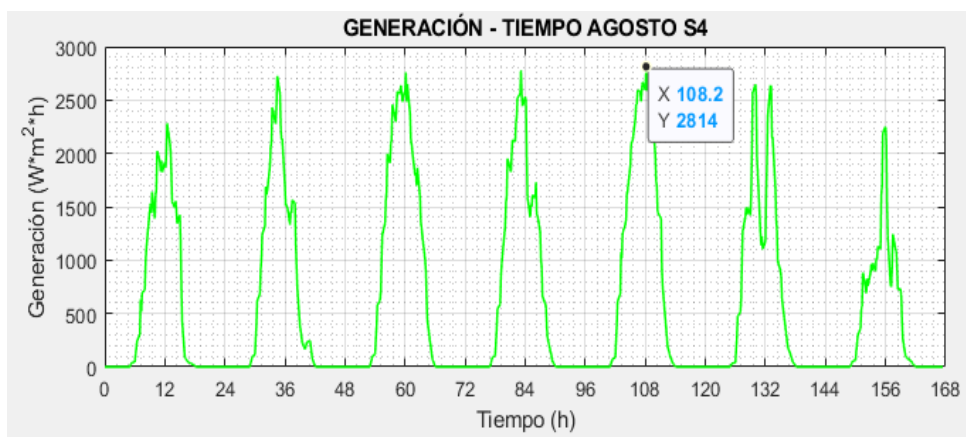
Generación solar del sistema mensual y semanal del mes de Agosto



Generación solar mensual (Agosto)



Generación solar semanal (Agosto)

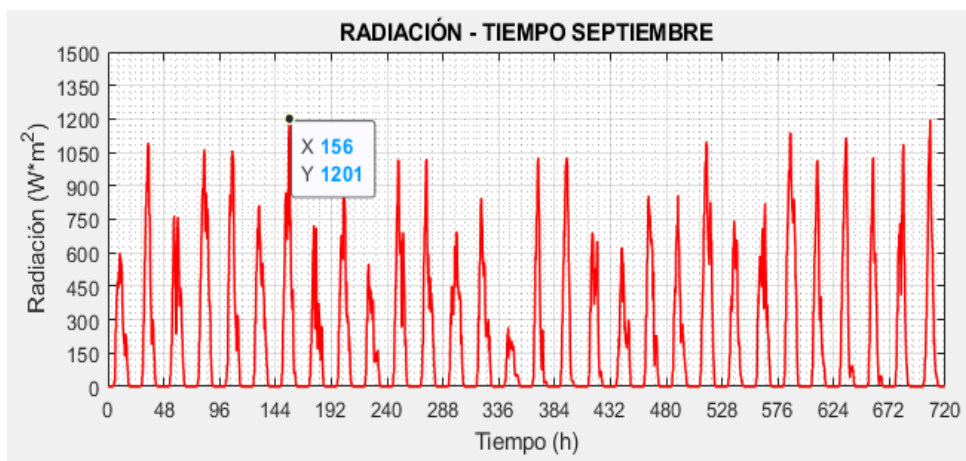


## ANEXO 14

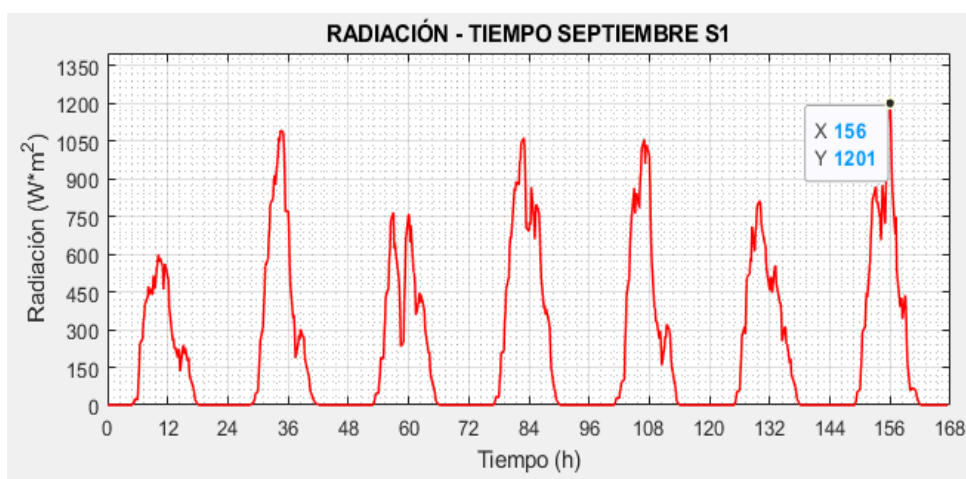
Radiación solar mensual y semanal del mes de Septiembre



Radiación solar mensual (Septiembre)



Radiación solar semanal (Septiembre)

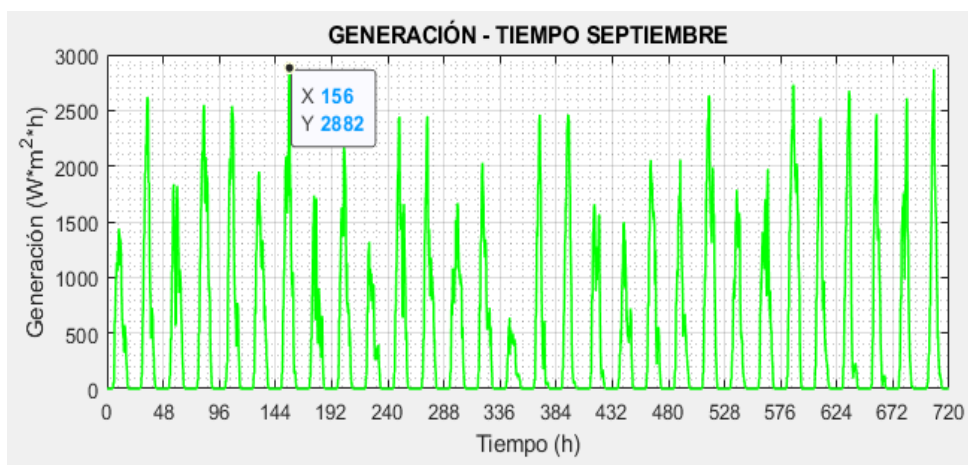


## ANEXO 15

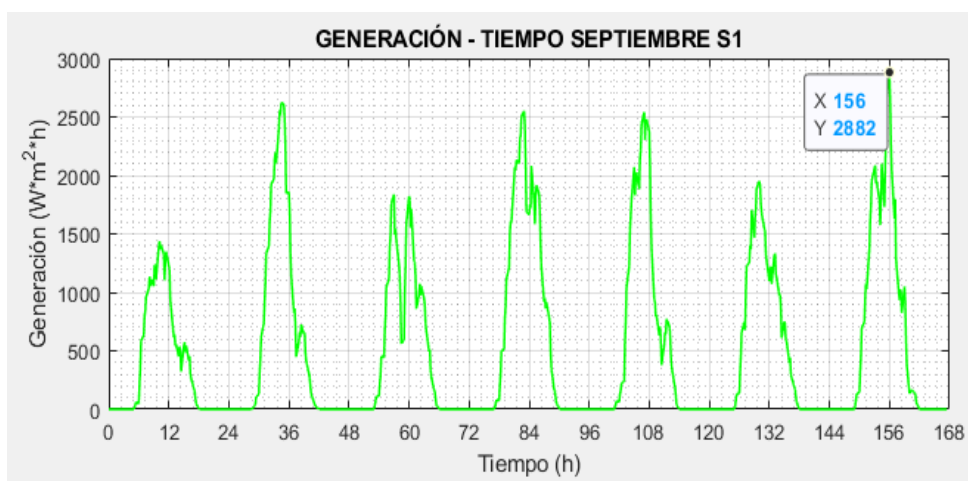
Generación solar del sistema mensual y semanal del mes de Septiembre



Generación solar mensual (Septiembre)



Generación solar semanal (Septiembre)

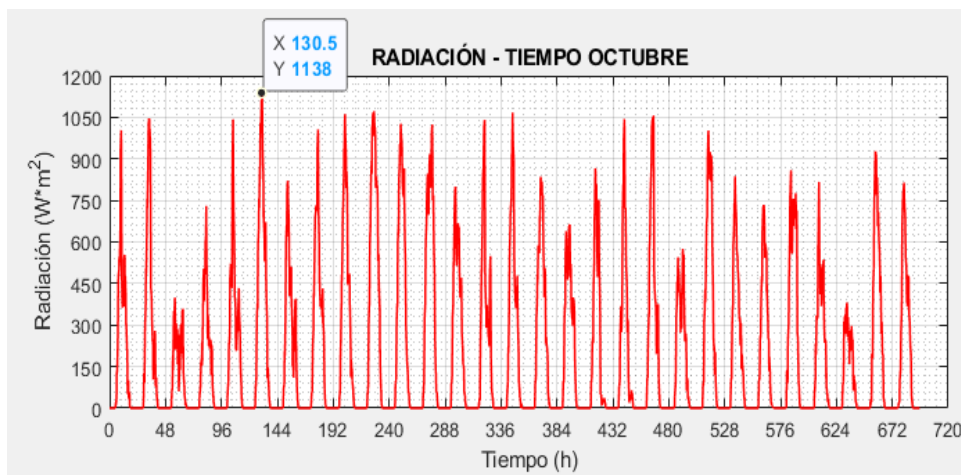


## ANEXO 16

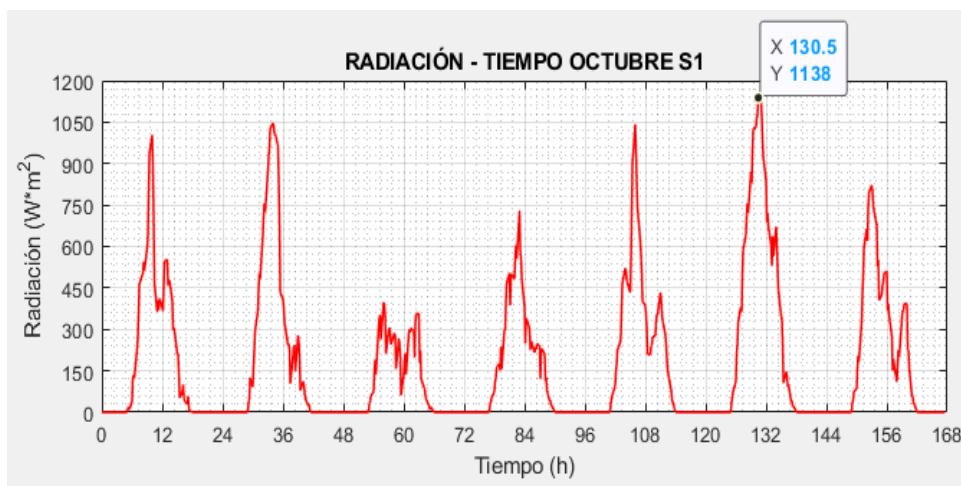
Radiación solar mensual y semanal del mes de Octubre



### Radiación solar mensual (Octubre)



### Radiación solar semanal (Octubre)

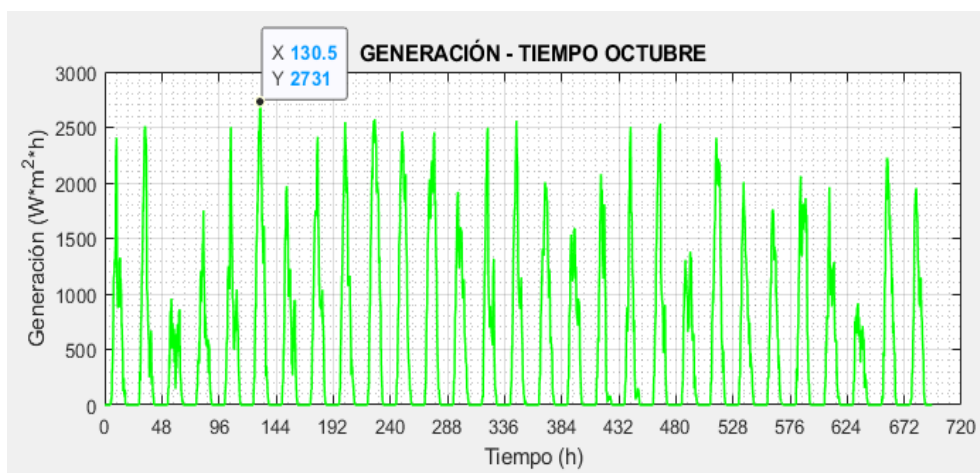


## ANEXO 17

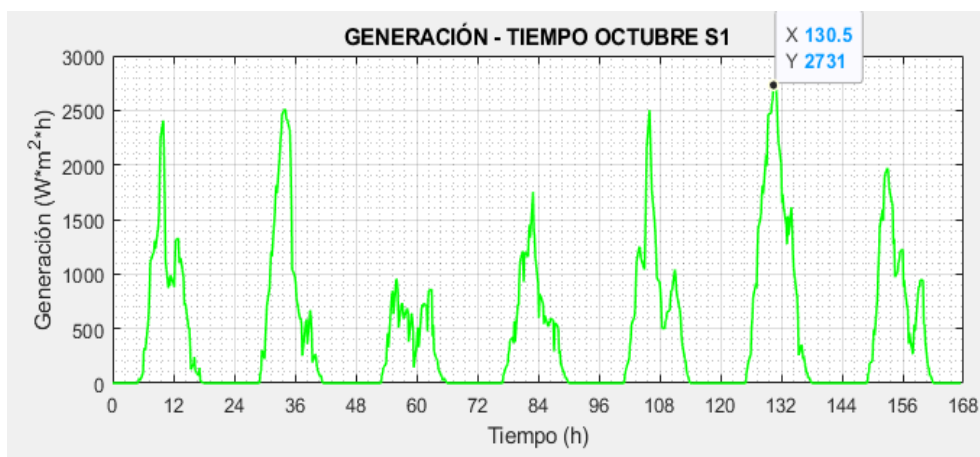
Generación solar del sistema mensual y semanal del mes de Octubre



### Generación solar mensual (Octubre)



### Generación solar semanal (Octubre)

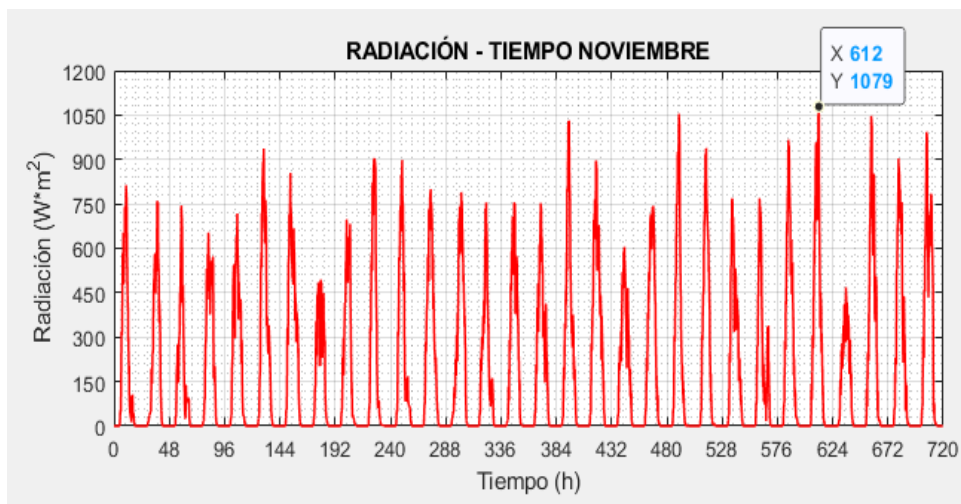


## ANEXO 18

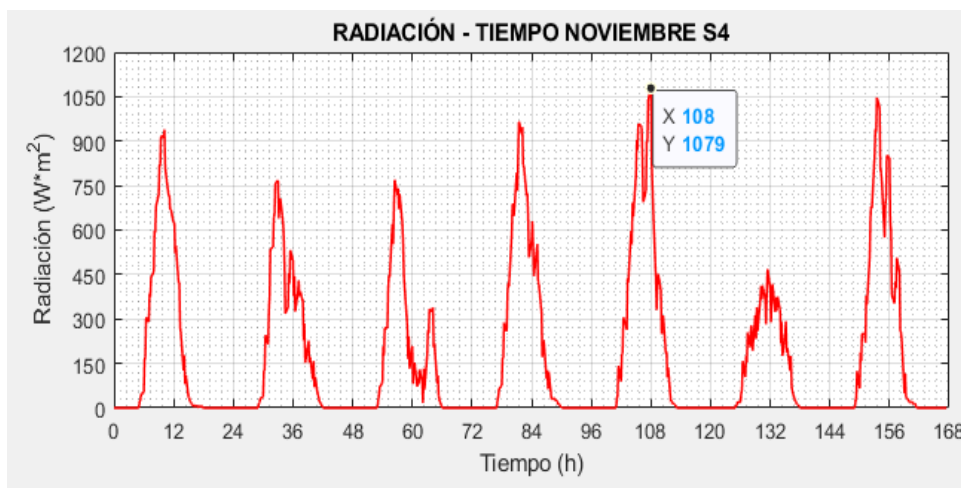
Radiación solar mensual y semanal del mes de Noviembre



Radiación solar mensual (Noviembre)



Radiación solar semanal (Noviembre)

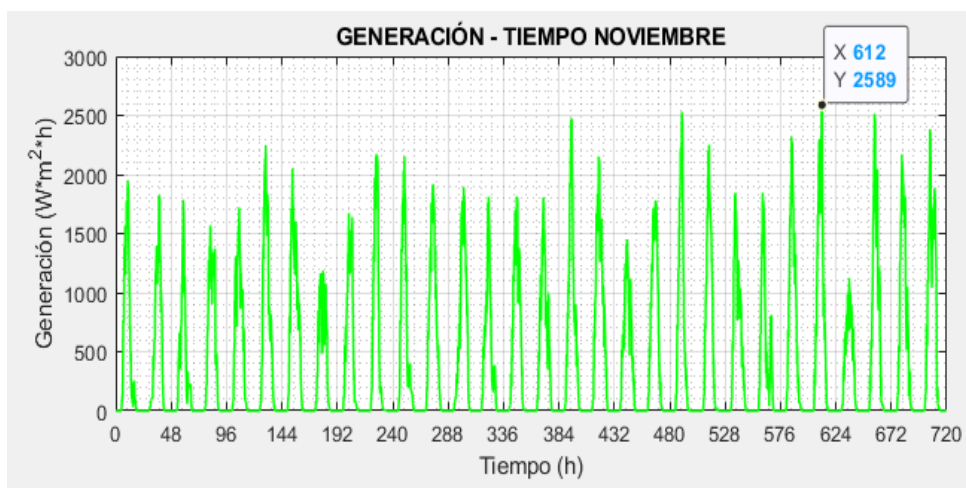


## ANEXO 19

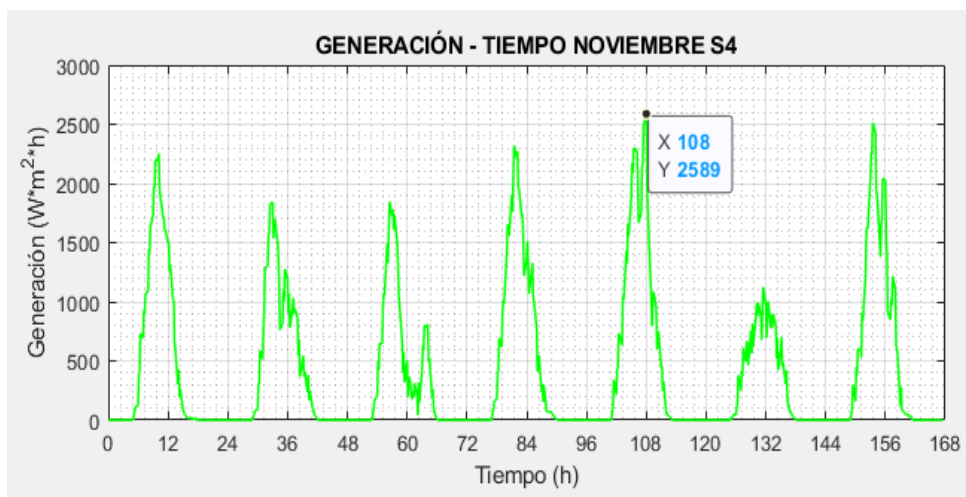
Generación solar del sistema mensual y semanal del mes de Noviembre



Generación solar mensual (Noviembre)



Generación solar semanal (Noviembre)



## ANEXO 20

### Algoritmo de control



```
function [cpanel, cred] =  
Algoritmo_de_control(vol_bat,rad_panel,vol_red,sin_energia_red)  
  
vol_bat_nom=100;  
rad_panel_nom=1000;  
vol_red_nom=120;  
vol_inv_nom=120;  
  
if vol_bat<=0.3*vol_bat_nom||rad_panel<=0.5*rad_panel_nom  
    u=0  
else  
    u=1  
  
end  
if vol_red<=119||sin_energia_red==0  
    t=0  
else  
    t=1  
end  
if sin_energia_red==0  
    u=1  
end  
  
if vol_bat>=0.3*vol_bat_nom&&rad_panel>=0.8*rad_panel_nom  
    u=1  
    t=0  
end  
cpanel = u;  
cred=t;
```



ANEXO 21

Datos de radiación solar utilizados para el estudio



Código QR para el acceso de datos



