



**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA**

**CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA**

**TRABAJO DE TITULACIÓN, PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO  
DE INGENIERO ELECTROMECAÁNICO**

**TEMA: DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN MÓDULO DIDÁCTICO DE  
MICROGENERACIÓN DISTRIBUIDA PARA ANÁLISIS DE FIABILIDAD Y  
SUSTENTABILIDAD EN EL SUMINISTRO DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN  
EL LABORATORIO DE ACCIONAMIENTOS ELÉCTRICOS.**

**AUTORES: DAMACELA TOAZA, ANGEL RICARDO**

**GUAMANGATE LAGLA, BRYAN ENRIQUE**

**DIRECTOR: ING. MULLO QUEVEDO, ALVARO SANTIAGO**

**LATACUNGA**

**2018**



**DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA**

**CARRERA DE INGENIERIA ELECTROMECAÁNICA**

## **CERTIFICACIÓN**

Certifico que el trabajo de titulación, “ **DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN MÓDULO DIDÁCTICO DE MICROGENERACIÓN DISTRIBUIDA PARA ANÁLISIS DE FIABILIDAD Y SUSTENTABILIDAD EN EL SUMINISTRO DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN EL LABORATORIO DE ACCIONAMIENTOS ELÉCTRICOS.**” fue revisado en su totalidad y analizado por el software anti-plagio, el mismo cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, por lo tanto me permito acreditarlos y autorizar a los señores **ANGEL RICARDO DAMACELA TOAZA Y BRYAN ENRIQUE GUAMANGATE LAGLA** para que lo sustente públicamente.

**Latacunga, mayo del 2018.**

A handwritten signature in blue ink is centered on the page. The signature is stylized and appears to read 'Álvaro Mullo'. Below the signature, there is a solid horizontal line, followed by a dotted horizontal line.

**Ing. Álvaro Mullo**

**DIRECTOR**



**DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA**  
**CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTROMECAÁNICA**

**AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD**

Nosotros, los señores **ANGEL RICARDO DAMACELA TOAZA Y BRYAN ENRIQUE GUAMANGATE LAGLA**, declaramos que este trabajo de titulación, “**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN MÓDULO DIDÁCTICO DE MICROGENERACIÓN DISTRIBUIDA PARA ANÁLISIS DE FIABILIDAD Y SUSTENTABILIDAD EN EL SUMINISTRO DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN EL LABORATORIO DE ACCIONAMIENTOS ELÉCTRICOS.**” se desarrolló considerando los métodos de investigación existentes, así como también se ha respetado los derechos intelectuales de terceros considerándose en las citas bibliográficas.

Consecuentemente declaramos que este trabajo es de nuestra autoría, en virtud de ello nos declaramos responsables del contenido, veracidad y alcance de la investigación mencionada.

Latacunga, Mayo del 2018.



**ANGEL RICARDO DAMACELA TOAZA**

**C.C.: 0503614141**



**BRYAN ENRIQUE GUAMANGATE LAGLA**

**C.C.: 1721517082**



**DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA**  
**CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTROMECAÁNICA**

**AUTORIZACIÓN**

Nosotros, los señores **ANGEL RICARDO DAMACELA TOAZA Y BRYAN ENRIQUE GUAMANGATE LAGLA**, autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar en el repositorio institucional el proyecto de titulación denominado “**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN MÓDULO DIDÁCTICO DE MICROGENERACIÓN DISTRIBUIDA PARA ANÁLISIS DE FIABILIDAD Y SUSTENTABILIDAD EN EL SUMINISTRO DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN EL LABORATORIO DE ACCIONAMIENTOS ELÉCTRICOS.**”, cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra autoría y responsabilidad.

Latacunga, Mayo del 2018.

**ANGEL RICARDO DAMACELA TOAZA**

**C.C.: 0503614141**

**BRYAN ENRIQUE GUAMANGATE LAGLA**

**C.C.: 1721517082**

## **DEDICATORIA**

Dedico el presente trabajo a mis padres Carlos Damacela y Esthela Toaza quienes me han dado su apoyo y amor incondicional, siendo en mi vida un pilar fundamental, lo cual me ha permitido tener fuerza en cada paso y la paz de saber que siempre podré contar con ellos.

A mis hermanos Cristina y Carlos los cuales me han brindado su cariño y ayuda incondicional.

**ANGEL RICARDO DAMACELA TOAZA**

Este proyecto se lo dedico a mis Padres José Enrique Guamangate y María Magdalena Lagla, que gracias a su apoyo y sacrificio me brindaron la fuerza para seguir adelante y gracias a ellos se logre cumplir una meta en mi vida.

A mis hermanas Elena Guamangate y Marcela Guamangate, que espero algún día logren a tener la misma satisfacción de llegar a este punto de la vida.

**BRYAN ENRIQUE GUAMANGATE LAGLA**

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a Dios que me ha dado la vida y me ha guiado en estos años.

A mis padres les agradezco por estar junto a mí en cada paso guiando mi camino apoyándome en mis buenos y malos momentos, dándome consejos y siempre pendientes de mi superación personal y espiritual.

Les agradezco a mis hermanos su paciencia y comprensión al haber estado en todo momento conmigo.

A todas las personas amigos y conocidos que me acompañaron a cumplir este sueño y se quedaron hasta el final a mi lado.

**ANGEL RICARDO DAMACELA TOAZA**

Agradezco a mi familia que siempre estuvieron a mi lado ayudándome con tiempo y consejos que me permitieron llegar a esta etapa de mi vida, a mis grandes amigos del colegio y universidad que de alguna forma llegaron a ser parte de esta meta alcanzada. A la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE extensión Latacunga quien fue la que dio la oportunidad de sacar la Ingeniería Electromecánica.

**BRYAN ENRIQUE GUAMANGATE LAGLA**

## ÍNDICE DE CONTENIDO

<b>PORTADA</b> .....	<b>i</b>
<b>CERTIFICACIÓN</b> .....	<b>ii</b>
<b>AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD</b> .....	<b>iii</b>
<b>AUTORIZACIÓN</b> .....	<b>iv</b>
<b>DEDICATORIA</b> .....	<b>v</b>
<b>AGRADECIMIENTO</b> .....	<b>vi</b>
<b>ÍNDICE DE CONTENIDO</b> .....	<b>vii</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS</b> .....	<b>xi</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....	<b>xiii</b>
<b>RESUMEN</b> .....	<b>xvii</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>xviii</b>
<b>CAPÍTULO I</b>	
<b>PROBLEMA</b>	
1.1. Introducción .....	1
1.2. Planteamiento del Problema.....	1
1.3. Objetivos .....	2
1.3.1. Objetivo general.....	2
1.3.2. Objetivos Específicos.....	2
1.4. Justificación e importancia .....	2
<b>CAPÍTULO II</b> .....	<b>4</b>
<b>2. MARCO TEÓRICO</b> .....	<b>4</b>
2.1. Antecedentes investigativos.....	4
2.2. Fundamentación teórica.....	5
2.2.1. Microgeneración. ....	5
2.2.2. Características de la Microgeneración .....	5
2.2.3. Ventajas de la microgeneración.....	6

2.2.4. Desventajas de la microgeneración. ....	6
2.2.5. Microgeneración distribuida. ....	7
2.2.6. Características microgeneración distribuida ....	7
2.2.7. Microgeneración distribuida en la actualidad ....	8
2.3. Fundamentación Conceptual ....	9
2.3.1. Esquema general de la microgeneración distribuida. ....	9
2.3.2. Energía solar fotovoltaica.....	12
2.3.3. Radiación Solar.....	13
2.3.4. Irradiancia. ....	14
2.3.5. Irradiación. ....	15
2.3.6. Hora solar pico (HSP). ....	15
2.3.7. Constante Solar (ISC).....	15
2.3.8. Elementos de la microgeneración fotovoltaica.....	15
2.3.9. Panel fotovoltaico.....	16
2.3.10.Inversor.....	22
2.3.11.Protecciones usadas en sistemas fotovoltaicos ....	26
2.3.12.Microgeneración Térmica ....	27
2.3.13.Elementos de la microgeneración térmica.....	29
2.3.14.Suministros de energía eléctrica en Ecuador. ....	30
2.3.15.Fiabilidad del suministro eléctrico.....	30
2.3.16.Sustentabilidad de energía eléctrica.....	31
2.4. Hipótesis. ....	31
2.5. Operacionalización de Variables.....	32

### **CAPÍTULO III**

#### **METODOLOGÍA**

3.1. Modalidad de la Investigación.....	33
3.1.1. Investigación Bibliográfica.....	33
3.1.2. Investigación Experimental. ....	33
3.2. Tipos de Investigación. ....	34
3.2.1. Cuantitativo.....	34



3.3.	Diseño de la Investigación. ....	34
3.3.1.	Método de hallazgo inductivo.....	34
3.3.2.	Método de hallazgo deductivo. ....	34
3.4.	Niveles de Investigación. ....	34
3.4.1.	Exploratoria.....	34
3.5.	Datos existentes .....	35
3.6.	Instrumentos. ....	37
3.7.	Validez y confiabilidad.....	37
3.8.	Técnica de análisis de datos.....	37
3.9.	Técnica de comprobación de datos. ....	37
3.10.	Análisis de irradiación solar en el punto de implementación del módulo didáctico.....	38
3.10.1.	Recurso solar en el Ecuador. ....	38
3.10.2.	Irradiancia en el punto de implementación .....	38
<b>CAPÍTULO IV</b>	<b>.....</b>	<b>40</b>
<b>4.</b>	<b>DISEÑO Y SELECCIÓN .....</b>	<b>40</b>
4.1.	Diseño Estructural del módulo didáctico .....	40
4.1.1.	Análisis computacional del módulo didáctico .....	40
4.1.2.	Factor de seguridad .....	42
4.2.	Diseño estructural del soporte de paneles solares. ....	44
4.2.1.	Análisis computacional del soporte de paneles solares.....	44
4.2.2.	Factor de seguridad .....	47
4.3.	Selección de los componentes .....	50
4.3.1.	Paneles Solares.....	50
4.3.2.	Controlador de carga .....	54
4.3.3.	Batería .....	56
4.3.4.	Generador Eléctrico .....	57
4.3.5.	Fuente de Voltaje DC.....	63
4.3.6.	Inversor.....	65
4.4.	Diseño de la Transferencia del Módulo Didáctico .....	67

4.4.1. Arduino Mega.....	67
4.4.2. Sensores de Voltaje.....	68
4.4.3. Módulo de relés Arduino.....	68
4.4.4. Relevadores 12 Vdc.....	69
4.4.5. Pantalla HMI (Nextion).....	70
4.4.6. Medidor Eastron SDM 230 MODBUS.....	71
4.4.7. Medidor de Rayos UV Arduino.....	72
4.5. Diseño final del módulo didáctico.....	72
4.6. Diseño del HMI. ....	73
<b>CAPÍTULO V.....</b>	<b>76</b>
<b>5. PRUEBAS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS.....</b>	<b>76</b>
5.1. Análisis de fiabilidad del módulo didáctico.....	76
5.1.1. Prueba del módulo didáctico a $\frac{1}{4}$ de carga de su capacidad total. ....	76
5.1.2. Prueba del módulo didáctico a $\frac{1}{2}$ de carga de su capacidad total.....	79
5.1.3. Prueba del módulo didáctico a $\frac{3}{4}$ de carga de su capacidad total.....	83
5.1.4. Prueba del módulo a toda carga.....	88
5.3. Análisis de la sustentabilidad del módulo didáctico. ....	93
<b>PRUEBA DE HIPÓTESIS.....</b>	<b>95</b>
<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>97</b>
<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>99</b>
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>100</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1</b> <i>Ventajas y desventajas de la energía solar fotovoltaica</i> .....	13
<b>Tabla 2</b> <i>Tipos de paneles fotovoltaicos</i> .....	18
<b>Tabla 3</b> <i>Características físicas de un panel fotovoltaico</i> .....	21
<b>Tabla 4</b> <i>Coeeficientes de temperatura de un panel</i> .....	22
<b>Tabla 5</b> <i>Ventajas y desventajas de microgeneración térmica</i> .....	28
<b>Tabla 6</b> <i>Cuadro de operacionalización de variables</i> .....	32
<b>Tabla 7</b> <i>Informe malla estructural</i> .....	41
<b>Tabla 8</b> <i>Fuerza aplicada en el módulo didáctico</i> .....	42
<b>Tabla 9</b> <i>Valores Von Mises</i> .....	43
<b>Tabla 10</b> <i>Información mallado estructural base de paneles</i> .....	45
<b>Tabla 11</b> <i>Información mallado estructural soporte de los paneles</i> .....	46
<b>Tabla 12</b> <i>Fuerza aplicada a la base de los paneles</i> .....	47
<b>Tabla 13</b> <i>Valores Von Mises base de los paneles</i> .....	48
<b>Tabla 14</b> <i>Fuerza aplicada a los soporte de los paneles</i> .....	49
<b>Tabla 15</b> <i>Valores Von Mise soporte base de los paneles</i> .....	49
<b>Tabla 16</b> <i>Datos de placa panel fotovoltaico</i> .....	50
<b>Tabla 17</b> <i>Energía demandada en el módulo</i> .....	52
<b>Tabla 18</b> <i>Características controlador de carga</i> .....	55
<b>Tabla 19</b> <i>Características batería</i> .....	56
<b>Tabla 20</b> <i>Caraacterísticas del generador eléctrico</i> .....	57
<b>Tabla 21</b> <i>Características fuente DC</i> .....	64
<b>Tabla 22</b> <i>Características inversor</i> .....	66

<b>Tabla 23</b> <i>Datos del módulo didáctico <math>\frac{1}{4}</math> de carga</i> .....	77
<b>Tabla 24</b> <i>Datos del módulo didáctico <math>\frac{1}{2}</math> carga</i> .....	80
<b>Tabla 25</b> <i>Datos del módulo didáctico <math>\frac{3}{4}</math> carga</i> .....	84
<b>Tabla 26</b> <i>Datos del módulo didáctico carga total</i> .....	88

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> Esquema general de la microgeneración distribuida .....	10
<b>Figura 2</b> Esquema general de microgeneración distribuida asilada.....	11
<b>Figura 3</b> Esquema general de microgeneración distribuida conectada a red ...	12
<b>Figura 4</b> Tipos de radiación .....	14
<b>Figura 5</b> Elementos de la microgeneración fotovoltaica .....	16
<b>Figura 6</b> Componentes Panel Fotovoltaico .....	17
<b>Figura 7</b> Paneles Fotovoltaicos conectados en serie.....	19
<b>Figura 8</b> Paneles fotovoltaicos conectados en paralelo.....	19
<b>Figura 9</b> Conexión de paneles fotovoltaicos mixta.....	20
<b>Figura 10</b> Curvas voltaje, corriente, potencia.....	21
<b>Figura 11</b> Circuito inversor monofásico y trifásico .....	24
<b>Figura 12</b> Conexión del inversor para sistema aislado .....	25
<b>Figura 13</b> Conexión del inversor conectado a red .....	25
<b>Figura 14</b> Protección Nivel 1 .....	26
<b>Figura 15</b> Protecciones nivel 2.....	27
<b>Figura 16</b> Protección salida del inversor .....	27
<b>Figura 17</b> Microgeneración Térmica .....	28
<b>Figura 18</b> Elementos de microgeneración térmica.....	29
<b>Figura 19</b> Capacidad instalada CELEC EP 2016.....	30
<b>Figura 20</b> Irradiación Ecuador.....	35
<b>Figura 21</b> Frecuencia días claros.....	36
<b>Figura 22</b> Porcentaje de días despejados.....	36
<b>Figura 23</b> Irradiancia abril 2018 .....	38

<b>Figura 24</b> Puntos bajos de irradiación .....	39
<b>Figura 25</b> Espectro Skewness para calidad de malla .....	40
<b>Figura 26</b> Mallado módulo didáctico .....	41
<b>Figura 27</b> Estructura paneles.....	44
<b>Figura 28</b> Mallado base paneles.....	45
<b>Figura 29</b> Mallado soporte de los paneles .....	46
<b>Figura 30</b> Panel fotovoltaico SIMAX 150W .....	51
<b>Figura 31</b> Controlador de carga .....	55
<b>Figura 32</b> Batería .....	56
<b>Figura 33</b> Generador .....	57
<b>Figura 34</b> Elementos del mecanismo para arranque automático.....	58
<b>Figura 35</b> Mecanismo aplicado más drain motor .....	59
<b>Figura 36</b> Drain Motor.....	59
<b>Figura 37</b> Alimentación drain motor .....	60
<b>Figura 38</b> Encendido eléctrico del generador .....	60
<b>Figura 39</b> Relé 110Vac .....	61
<b>Figura 40</b> LOGO 230RC .....	62
<b>Figura 41</b> Apagado eléctrico .....	62
<b>Figura 42</b> Relé 110 Vac.....	63
<b>Figura 43</b> Salida de voltaje DC en el generador .....	63
<b>Figura 44</b> Fuente de Voltaje DC .....	64
<b>Figura 45</b> Contactor .....	65
<b>Figura 46</b> Inversor 300W .....	66
<b>Figura 47</b> Partes del Inversor.....	67

<b>Figura 48</b> Arduino Mega .....	68
<b>Figura 49</b> Sensor de Voltaje Arduino .....	68
<b>Figura 50</b> Módulo relés Arduino .....	69
<b>Figura 51</b> Conexión de relevador.....	70
<b>Figura 52</b> Relevador .....	70
<b>Figura 53</b> Pantalla Nextion.....	71
<b>Figura 54</b> Medidor Eastron .....	71
<b>Figura 55</b> Sensor rayos UV con conexión Arduino .....	72
<b>Figura 56</b> Presentación final módulo didáctico .....	73
<b>Figura 57</b> Carátula HMI.....	74
<b>Figura 58</b> Estructura general módulo.....	74
<b>Figura 59</b> Irradiancia-Tiempo HMI .....	75
<b>Figura 60</b> Voltaje-Tiempo HMI .....	75
<b>Figura 61</b> Carga Instalada HMI.....	75
<b>Figura 62</b> Irradiación prueba 1/4 carga.....	76
<b>Figura 63</b> Porcentaje de energía generada a 1/4 carga .....	78
<b>Figura 64</b> Voltaje inicio de la prueba.....	78
<b>Figura 65</b> Voltaje transferencia iniciada.....	79
<b>Figura 66</b> Irradiancia prueba 1/2 Carga .....	80
<b>Figura 67</b> Porcentaje de energía generada 1/2 de carga .....	82
<b>Figura 68</b> Comportamiento del voltaje prueba 1/2 carga .....	82
<b>Figura 69</b> Irradiancia tercera prueba.....	83
<b>Figura 70</b> Porcentajes Energía generada 3/4 de carga .....	85
<b>Figura 71</b> Voltajes inicio tercera prueba .....	86

<b>Figura 72</b> Transferencia eléctrica tercera prueba .....	86
<b>Figura 73</b> Recuperación sistema fotovoltaico tercera prueba .....	87
<b>Figura 74</b> Voltajes en el término de la tercera prueba .....	87
<b>Figura 75</b> Irradiancia cuarta prueba .....	88
<b>Figura 76</b> Porcentajes Energía generada carga máxima.....	91
<b>Figura 77</b> Voltajes inicio cuarta prueba.....	91
<b>Figura 78</b> Voltajes y transferencia eléctrica cuarta prueba .....	92



## RESUMEN

El presente trabajo describe el diseño e implementación de un módulo de microgeneración distribuida entre un sistema fotovoltaico y un sistema térmico para poder analizar la fiabilidad y sustentabilidad en el suministro de energía eléctrica. En el diseño e implementación del módulo didáctico se analiza la potencia máxima de 200 W., con la que se va a trabajar, teniendo 300 W. en el sistema fotovoltaico y 2500 W. en el sistema térmico. Se realiza la implementación del sistema fotovoltaico, el cual se dimensiono y se obtuvo dos paneles solares en paralelo de 150 W. cada uno, para la implementación del sistema térmico se considera las características técnicas del equipo satisfaciendo la carga inicial planteada, se diseñó la transferencia eléctrica entre los dos sistemas de microgeneración mediante los controladores PLC LOGO y Arduino teniendo en cuenta valores de voltaje en ambos sistemas siendo 11.8 V. el valor mínimo de desconexión y 15.4 V. el valor de reconexión, considerando al sistema fotovoltaico como microgeneración Master, para el monitoreo del funcionamiento del módulo se implementó un HMI en una pantalla Nextion que permite visualizar variables en tiempo real, se comprobó la fiabilidad del módulo debido a que el mayor aporte de energía generada fue por el sistema fotovoltaico con más del 70% en las pruebas realizadas de 11:00 a 13:00, teniendo una irradiancia en las mismas 190 w/m<sup>2</sup> y 1200 w/m<sup>2</sup> y es sustentable debido a que existe un ahorro económico de 289 USD anuales.

### **PALABRAS CLAVE:**

- **GENERACIÓN FOTOVOLTAICA**
- **ENERGÍA TÉRMICA**
- **TRANSFERENCIAS ELÉCTRICA**
- **MICROGENERACIÓN DE ENERGÍA**

## **ABSTRACT**

This paper describes the design and implementation of a distributed microgeneration module between a photovoltaic system and a thermal system to analyze the reliability and sustainability of the electric power supply. For the design and implementation of the didactic module, the maximum power of 200 W. is analyzed, with which it is going to work, having 300 W. in the photovoltaic system and 2500 W. in the thermal system. The implementation of the photovoltaic system was carried out, which was dimensioned and two solar panels were obtained in parallel of 150 W. each, for the implementation of the thermal system the technical characteristics of the equipment were taken into account, satisfying the initial load raised, the transfer was designed between the two microgeneration systems using the PLC LOGO and Arduino controllers taking into account voltage values in both systems being 11.8 V. the minimum value of disconnection and 15.4 V. the value of reconnection, considering the photovoltaic system as Master microgeneration, for the monitoring of the operation of the module was implemented an HMI in a Nextion screen that allows to visualize variables in real time, the reliability of the module was verified because the greater contribution of energy generated was by the photovoltaic system with more than 70% in the tests , having an irradiance in the same 190 w / m<sup>2</sup> and 1200 w / m<sup>2</sup> and is sustainable due There is an economic saving of 289 USD per year.

### **KEY WORDS:**

- **PHOTOVOLTAIC GENERATION**
- **THERMAL ENERGY**
- **ELECTRICAL TRANSFERS**
- **MICROGENERATION OF ENERGY**

## **CAPÍTULO I**

### **1. PROBLEMA**

#### **1.1. Introducción**

La microgeneración de energías renovables refiere a generación de energía eléctrica en pequeña escala, que se obtiene a partir del viento o del sol.

Generalmente se utiliza para brindar provisión eléctrica domiciliaria o rural. Con el avance de la tecnología y también de la concientización ciudadana sobre las ventajas de la utilización de energías renovables, se está incrementando la oferta de equipamiento que permite producir pequeñas cantidades de energía en el mismo lugar que se consume.

Debido a que las energías renovables están ocupando un campo más grande en la sociedad se están implementando varios tipos de generación en un mismo punto con el fin de tener una o más alternativas de generación.

#### **1.2. Planteamiento del Problema.**

En la actualidad es más frecuente usar energías renovables y otros tipos de generación en el Ecuador, al no existir módulos didácticos de microgeneración distribuida de bajo costo no se ha podido estudiar la fiabilidad y sustentabilidad de este tipo de redes, por lo que se ve en la necesidad de realizar un proyecto de investigación que permita analizar la fiabilidad y sustentabilidad del suministro de energía eléctrica de un sistema de microgeneración distribuida, entre microgeneración fotovoltaica y térmica.

Por ello se ha decido diseñar e implementar un módulo didáctico de microgeneración que permitirá entender y estudiar de mejor manera el comportamiento de microgeneración fotovoltaica y microgeneración térmica, la cual puede ser utilizada para múltiples aplicaciones en el área industrial como residencial, teniendo en cuenta que no se afectará al medio ambiente.

### **1.3. Objetivos**

#### **1.3.1. Objetivo general**

Diseñar e implementar un módulo didáctico de microgeneración distribuida utilizando microgeneración fotovoltaica y térmica, para análisis de fiabilidad y sustentabilidad en el suministro de energía eléctrica en el laboratorio de Accionamientos Eléctricos.

#### **1.3.2. Objetivos Específicos**

- Diseñar un sistema de microgeneración fotovoltaica y térmica.
- Realizar la transferencia eléctrica entre los sistemas de microgeneración térmica y fotovoltaica para que el sistema sea autónomo.
- Implementar el módulo didáctico en el laboratorio de accionamientos.
- Determinar el funcionamiento del módulo de microgeneración distribuida.
- Obtener las curvas al momento de la transferencia para obtener la fiabilidad y sustentabilidad del sistema.

### **1.4. Justificación e importancia**

La microgeneración distribuida, permite el uso de varios tipos de generación, con el uso primordial energías renovables, permitiendo tener un sistema fiable y sustentable al momento de tener en el sistema cargas variables.

La Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE tiene como misión el formar profesionales de excelencia capaces de solucionar problemas de ingeniería, es por eso que se ha planteado el diseño e implementación de un módulo didáctico de microgeneración distribuida que permita analizar el comportamiento del sistema en fiabilidad y sustentabilidad del suministro eléctrico.

Mediante el presente proyecto de investigación del análisis de fiabilidad y sustentabilidad de microgeneración distribuida entre microgeneración fotovoltaica y microgeneración térmica, se quiere dar a conocer la importancia de tener un sistema de microgeneración distribuida.

Este proyecto puede ser utilizado como módulo de investigación y práctica con los estudiantes de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE; haciendo énfasis a la carrera de ingeniería en Electromecánica, esto es de vital importancia ya que el Ingeniero Electromecánico debe tener conocimientos de distintos tipos de generación, distribución y energías renovables

## CAPÍTULO II

### 2. MARCO TEÓRICO

#### 2.1. Antecedentes investigativos

La microgeneración se ha ido expandiendo a través de los años en todo el mundo, en Europa el país donde más ha tenido impacto es España donde la microgeneración se ha convertido en un modelo energético convencional, siendo la energía fotovoltaica la primera fuente de generación eléctrica, usada en varios hogares, edificios y empresas.

Con el desarrollo de la generación distribuida las poblaciones que se encuentran lejanas a las redes de suministro de energía podrán ser electrificadas con estos medios con el propósito de mejorar las condiciones de vida de sus habitantes, aprovechando los recursos de la localidad y haciendo uso de generadores renovables, como se menciona en el proyecto de Diego Ortiz con su tema de proyecto “Sistemas SCADA para Micro-redes con Sistemas Híbridos de Generación para Comunidades” (Villalba, 2011).

Otro estudio realizado en la Universidad Nacional de Ingeniería, en el año 2013 por los Ingenieros Héctor Tinocco y Nelson Huamani mediante su proyecto de microgeneración distribuida con sistemas fotovoltaicos pudo concluir que mediante la implementación la microgeneración entre 1 y 2 KW. Representa ser viable, teniendo en cuenta la oportunidad de inversión conociendo la tendencia a la baja en los costos de los equipos del sistema fotovoltaico. (Herrera, 2013).

Según Galo Álvarez y Héctor Vaca en su proyecto “Diseño e implementación de una micro red híbrida a base de energía fotovoltaica y energía térmica diésel en la empresa Trace OilField Services Cia. Ltda. Para reducir la contaminación ambiental”, la implementación del sistema fotovoltaico renovable de energía repercute en las emisiones de CO<sub>2</sub> y por tanto la reducción de la contaminación atmosférica, del efecto invernadero y del cambio climático que de él se deriva. (Álvarez & Vaca, 2014)

## **2.2. Fundamentación teórica**

### **2.2.1. Microgeneración.**

La microgeneración de energías renovables está enfocada a la generación de energía eléctrica a baja escala en comparación a la convencional, los principales recursos que se emplean para esta, provienen del viento y del sol. La potencia estimada en estos sistemas es inferior a los 10KW, esta microgeneración por lo general se usa en zonas rurales y domiciliarias.

“Con el avance de la tecnología y también de la concientización ciudadana sobre las ventajas de la utilización de energías renovables, se está incrementando la oferta de equipamiento que permite producir pequeñas cantidades de energía en el mismo lugar que se consume.”. (Vercelli, 2012)

Para comprender de una mejor manera la definición de lo que es microgeneración, se podría basar en una Ley Energética emitida en Inglaterra en el año 2004 que dice “los sistemas que usen como generación únicamente: biomasa, biocombustibles, celda de combustible, celdas fotovoltaicas, recursos hídricos o energía del viento para la generación de electricidad cuyas capacidades sean máximo 10 KW, se considerara como microgeneración”. (Cortés, 2008)

### **2.2.2. Características de la Microgeneración**

Existen una gran cantidad de características dentro de la microgeneración a continuación se enumerarán las más relevantes

- Debe existir el uso de tecnologías energéticas renovables o alternativas.
- La electricidad producida es principalmente para uso propio del cliente.
- La capacidad de generación se dimensiona para satisfacer la totalidad o una parte del consumo de energía sitio del cliente o sitios agregados (también denominado carga). (AESO, 2008)
- La unidad generadora suministra energía sólo a un sitio ubicado en una propiedad que el cliente posee o arrenda. (AESO, 2008)

### **2.2.3. Ventajas de la microgeneración.**

Dentro de las ventajas de la microgeneración es contribuir con el ahorro de combustible fósil, ayudar a disminuir la pobreza energética, evitar la dependencia de un solo combustible. Minimizar las pérdidas del sistema, aunque esta es de menor relevancia ya que la microgeneración es menos eficiente en una red a gran escala.

#### **Apoyo a la generación renovable intermitente.**

Como otra ventaja que se puede derivar del uso de la microgeneración es el apoyo que le da a recursos eólicos intermitentes y, por naturaleza de su diversidad, reduce la necesidad de capacidad de respaldo. (Andrews, 2008)

#### **Participación activa de la sociedad.**

Los propietarios que invierten en microgeneración se hacen más conscientes de su aporte a la contaminación de CO<sub>2</sub> y tienden a modificar sus estilos de vida para reducir aún más su impacto ambiental. (Andrews, 2008)

#### **Eficiencia.**

Las distintas tecnologías que se usan en microgeneración (Fotovoltaica, Hidráulica, eólica, etc.), se combinan para formar una solución de energía híbrida mucho más eficiente y tiene un menor costo que un sistema basado en un generador. (Ginn, 2016)

### **2.2.4. Desventajas de la microgeneración.**

Dentro de la microgeneración también existen ciertos factores que pueden afectar al incremento de este tipo de instalaciones como:

#### **Instalaciones limitadas**

No se puede generar grandes cantidades de electricidad en un solo lugar, debido al espacio que ocupa las instalaciones de microgeneración.



### **Impacto visual.**

Algunas personas se oponen a este tipo de instalaciones de microgeneración, ya que la puesta de estas tecnologías como son paneles solares, turbinas eólicas, micro turbias de agua, entre otras, causan molestias. (Fowler, 2014)

### **Costo de instalación.**

Los costos en estos tipos de instalación son relativamente altos por esta razón no son muy comunes. (Fowler, 2014)

#### **2.2.5. Microgeneración distribuida.**

Se puede definir a la microgeneración distribuida a partir del concepto de generación distribuida que se basa en la utilización de pequeñas unidades instaladas, cercanas a la carga y conectadas directamente al sistema de distribución eléctrico. La microgeneración distribuida puede ser empleada en sistemas de media y baja tensión. (Cortés, 2008)

En un modelo básico de la microgeneración distribuida se tiene al cliente o carga como el eslabón final en el sistema energético, debido a que está en la capacidad de ser autónomo y muy rara vez requiere energía de la red eléctrica y toda la energía generada es consumida en el mismo lugar. De acuerdo al tamaño de la instalación y la cantidad de energía generada, puede aportar la energía excedente a la red. (Vercelli, 2012).

En países con más avance tecnológico el uso de microgeneración distribuida se está elevando considerablemente, ya que gobiernos promueven su uso mediante programas de inversión y subsidios. (Vercelli, 2012)

#### **2.2.6. Características microgeneración distribuida**

##### **Mejorar la fiabilidad y sustentabilidad del sistema eléctrico**

Al existir varias fuentes de microgeneración, distribuidas por el territorio, cuando una de estas llega a fallar, no influye un grave problema para el sistema eléctrico.

### **Reducir las pérdidas en la red eléctrica.**

Estar más cerca del consumidor supone que las redes de transporte sean más cortas. Por lo tanto, la microgeneración distribuida supone menos pérdidas de energía en el transporte de la electricidad desde la generación hasta el consumidor y esto influye en el ahorro.

### **Potencias reducidas**

En la microgeneración distribuida por lo general se trabaja con potencias inferiores a 3 KW, aunque en general se suele decir que no sobrepasan 10 KW de potencia instalada.

### **Energías renovables**

En la microgeneración distribuida están muy presentes las energías renovables, ya que al estar tan cerca del consumo, se puede verificar su estado de funcionamiento constantemente, estas pueden ser con celdas fotovoltaicas, turbinas eólicas, biomasa, etc.

#### **2.2.7. Microgeneración distribuida en la actualidad**

La microgeneración distribuida ha ido en aumento en varios países desarrollados, estos países ya han adaptado la microgeneración distribuida en sus redes eléctricas de media y bajo voltaje, acomodándose a sus necesidades para obtener beneficios en el futuro.

En Alemania ha tenido una gran acogida el uso de microgeneración, ya que existen una cantidad aproximada de 150000 personas trabajando con energías renovables, teniendo una elevada cantidad de ingresos económicos acercándose a 12 billones de euros al año. (Cortés, 2008).

Existe una organización en Europa llamada IEE (Intelligent Energy Europe), que ha creado programas de apoyo financiero para la creación de proyectos basado en energías renovables. Canadá es uno de los primeros países en América, en implementar pequeños aerogeneradores, sistemas fotovoltaicos y celdas de

combustible en lugares residenciales, teniendo una buena acogida para mejorar el desarrollo en el mercador energético, esto se verá reflejado en la economía del país reduciendo costos. Otro de los países que ha ido incrementando el uso de microgeneración distribuida es Japón con su programa “Sunshine”, que ya tiene instalado 200000 sistemas fotovoltaicos en el año 2004. (Tituaña, 2014)

El país con más desarrollo a nivel mundial en la microgeneración distribuida es Reino Unido ya que ha venido implementado leyes que fomentan el uso de esta tecnología a nivel domiciliario.

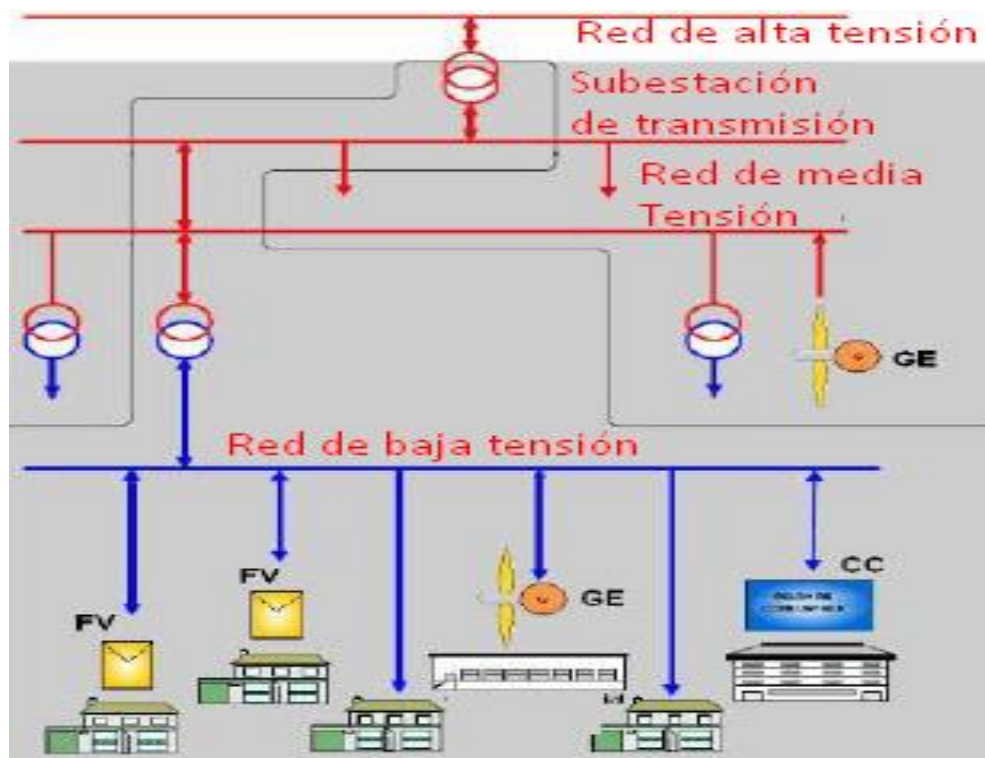
Mediante medidas gubernamentales tales como programas donde se impulsan al uso de esta tecnología, con información al público; y principalmente con su programa “Estrategia de Microgeneración”, en el año 2004, Reino Unido logro contar con un aproximado de 82000 instalaciones de microgeneración. Se espera que para el año de 2050 en Reino Unido mediante estas instalaciones la energía que se obtenga pueda cubrir hasta en un 40% el consumo energético residencial y así lograr disminuir la contaminación de carbono hasta un 15%. (Calva, 2007)

## **2.3. Fundamentación Conceptual**

### **2.3.1. Esquema general de la microgeneración distribuida.**

Dependiendo del recurso energético que se esté utilizando se podrá cuantificar la energía generada ya sean estas fuentes solares, eólicas o hidráulicas las cuales son variables en tiempo, dependiendo directamente del día, estación y factores climáticos. (MIEMDNE, 2013)

De acuerdo a la demanda energética se puede tener tipos de respaldos en la generación para tener energía eléctrica de una manera más eficaz (MIEMDNE, 2013), un esquema general de microgeneración distribuida puede ser representado mediante un diagrama unifilar donde se encuentra los distintos tipos de microgeneración (fotovoltaico, eólico, entre otros.), como se muestra en la figura 1.



**Figura 1.** Esquema general de la microgeneración distribuida

Fuente: (Tituaña, 2014)

Existen dos tipos de sistemas en la microgeneración que son:

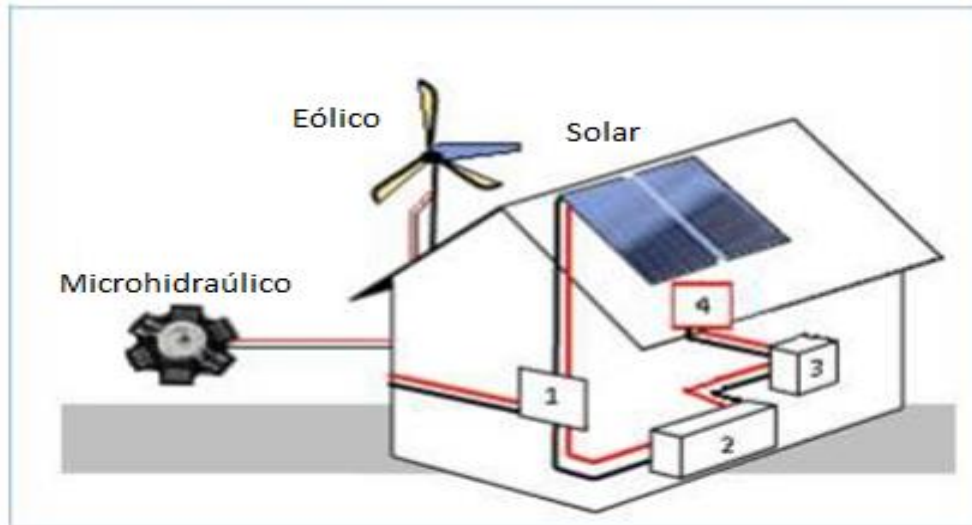
- Los sistemas aislados
- Los sistemas conectados a la red.

### **Microgeneración distribuida de un sistema aislado**

Para un sistema aislado, la energía generada será para autoconsumo, debido a que no requiere puntos de interconexión con la red principal y no hay manera de que esta sea transmitida a otro punto. (MIEMDNE, 2013)

Usualmente los sistemas aislados constan de baterías, que al momento de estar totalmente cargadas entregan energía de acuerdo a su capacidad en los momentos que la fuente renovable no esté disponible en la cantidad necesaria (MIEMDNE, 2013). Un esquema básico de microgeneración distribuida aislada puede tener las siguientes: Ver figura 2.

1. Controlador de carga
2. Banco de baterías
3. Inversor de corriente
4. Punto de consumo (electrodomésticos, entre otros).



**Figura 2.** Esquema general de microgeneración distribuida asilada

Fuente: (MIEMDNE, 2013)

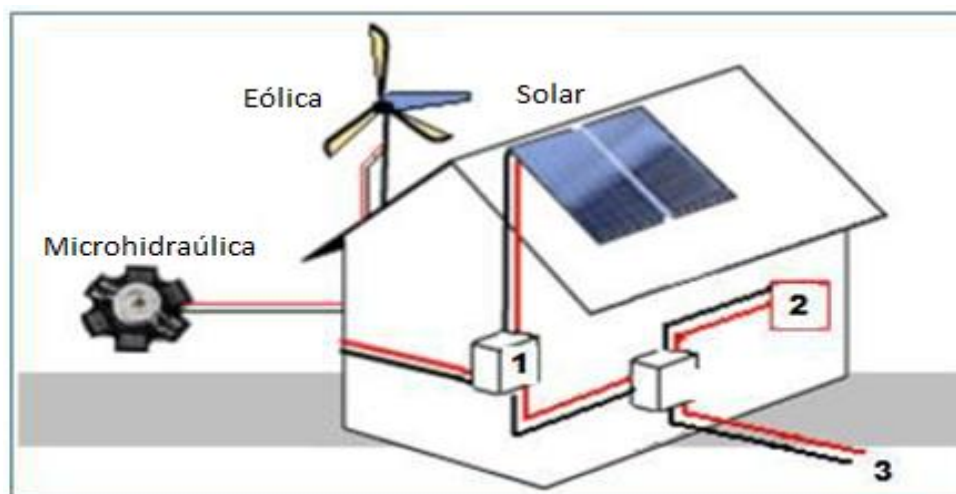
### **Microgeneración distribuida de un sistema conectado a red**

Para un sistema conectado a red, se tiene un micro generador que será utilizado en forma de autoconsumo, y a su vez tiene conexión a la red eléctrica, en este tipo de sistemas no es necesario utilizar baterías como acumulación de energía, ya que cuando no se está generando se puede utilizar energía de la red eléctrica. (MIEMDNE, 2013)

Para la microgeneración conectada a red los sistemas combinados con generación fotovoltaica y generación eólica han sido utilizados con éxito a fin de disponer de energía eléctrica las 24 horas del día de un modo eficaz, y si se desea puede recurrirse también a un respaldo con un generador a combustible. (MIEMDNE, 2013)

La microgeneración distribuida conectada a red tiene los siguientes componentes: Ver figura 3.

1. Inversor de Corriente
2. Punto de Consumo (Electrodomésticos, entre otros.)
3. Red Eléctrica



**Figura 3.** Esquema general de microgeneración distribuida conectada a red

Fuente: (MIEMDNE, 2013)

### 2.3.2. Energía solar fotovoltaica.

La energía solar fotovoltaica se considera una tecnología que permite la generación de corriente directa, por medio de conductores mediante la iluminación por un haz de fotones, cuando la radiación es reflejada en la célula solar (elemento individual solar fotovoltaico), genera potencia eléctrica que puede ser medida en vatios o kilovatios; cuando la radiación desaparece las células solares dejan de generar energía eléctrica. (Grupo NAP, 2002)

En la tabla 1 se puede observar detalladamente varias ventajas y desventajas en la parte técnica y no técnica de la energía solar fotovoltaica.

**Tabla 1**

*Ventajas y desventajas de la energía solar fotovoltaica*

Ventajas	Desventajas
Limpia, renovable, infinita, silenciosa	Gran inversión inicial
Retribuida económicamente la producción para venta a red	Proceso de fabricación de módulos complejos
Subvenciones	No competitiva con otras energías en la actualidad
Sin partes móviles y modular	Producción variable según climatología y época del año

Fuente: (Grupo NAP, 2002)

En primera instancia los sistemas fotovoltaicos se pueden clasificar dependiendo de si están o no conectados a la red eléctrica. (Abella, 2011)

- **Sistemas fotovoltaicos autónomos:** Son aquellos que están asilados de la red eléctrica.
- **Sistemas fotovoltaicos conectados a red:** Son aquellos que están conectados directamente conectada a la red eléctrica. (Abella, 2011)

### 2.3.3. Radiación Solar

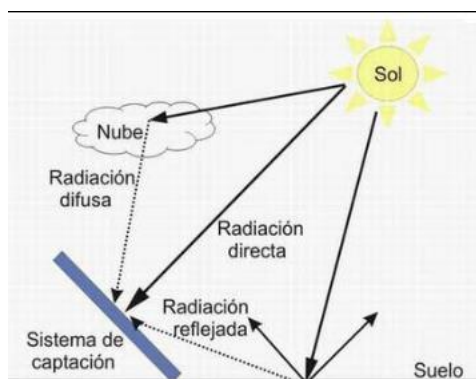
La radiación solar es la transferencia de energía mediante ondas electromagnéticas, producida en todas las direcciones directamente desde la fuente. Las ondas provenientes del sol, como de las estrellas, son capaces de traspasar la atmosfera y así llegar a la superficie terrestre, dichas ondas poseen una longitud que está representada por  $\lambda_o$  y una frecuencia ( $\nu$ ), y se puede representar mediante la siguiente ecuación: (Toro & Mantilla, 2017)

$$\lambda_o \times \nu = c$$

Dónde: c es la velocidad de la luz

## Tipos de radiación solar

- **Radiación Directa:** esta radiación se caracteriza porque cae directamente del sol, sin desviaciones en su trayectoria al cruzar por la atmósfera. (Toro & Mantilla, 2017)
- **Radiación difusa:** es la radiación que al pasar por la atmósfera terrestre sufre un cambio de dirección al llegar a la superficie de la tierra, este cambio de dirección de los rayos solares es producido por el choque directo de ciertas moléculas y partículas presentes en el aire, debido a esto los rayos solares no se consideran radiación directa; en otras palabras, la radiación difusa es la que llega a través de las nubes. (Echeverría, 2011)
- **Radiación reflejada:** esta radiación es la que proviene por el efecto que producen los rayos reflejados por objetos de la tierra como lagos, suelo, paredes, etc. (Echeverría, 2011)
- **Radiación total:** es la radiación obtenida, mediante los otros tipos de radiación que son directa difusa, reflejada. Los distintos tipos de radiación se muestran en la figura 4.



**Figura 4.** Tipos de radiación

Fuente: (Toro & Mantilla, 2017)

### 2.3.4. Irradiancia.

Es la potencia instantánea de radiación solar recibida por unida de superficie, su unidad según el Sistema Internacional de medidas (SI) es  $\text{kW/m}^2$ , la irradiancia se la representa con la letra (G).



Mediante esta unidad de energía se puede calcular la cantidad de energía eléctrica que genera un panel fotovoltaico tomando en cuenta la potencia del mismo. Teniendo el valor de irradiancia se podrá estimar el lugar indicado donde se puede instalar un sistema fotovoltaico. (Álvarez & Vaca, 2014)

### **2.3.5. Irradiación.**

Según el Sistema Internacional de medidas la irradiación tiene como unidad  $\text{KWh/m}^2$ , y se la puede representar con la letra (H).

El valor de irradiación se puede obtener al integrar la irradiancia en un determinado tiempo, y se la puede definir como la potencia incidente por unidad de superficie en un determinado tiempo. (Álvarez & Vaca, 2014)

### **2.3.6. Hora solar pico (HSP).**

La hora solar pico puede ser definida como la energía recibida durante el tiempo de una hora a una irradiancia promedio de  $1000 \text{ W/m}^2$ .

Se puede determinar el número de horas en el que el panel fotovoltaico es capaz de generar la potencia máxima especificada por el fabricante, los paneles son evaluados teniendo en cuenta un valor de intensidad luminosa de  $1 \text{ kW/m}^2$  y la duración del día solar promedio. (Álvarez & Vaca, 2014)

### **2.3.7. Constante Solar (ISC)**

Es la energía solar que incide sobre una superficie normal a los rayos del sol a una distancia de una unidad astronómica en todas las longitudes de onda. Tiene un valor de  $1367 \text{ W/m}^2$ , según la WRC (World Radiation Reference Center). (Álvarez & Vaca, 2014)

### **2.3.8. Elementos de la microgeneración fotovoltaica.**

En general, un sistema de microgeneración fotovoltaica consta de: panel fotovoltaico, batería de acumulación, regulador de carga, inversor, tal como se muestra en la figura 5.



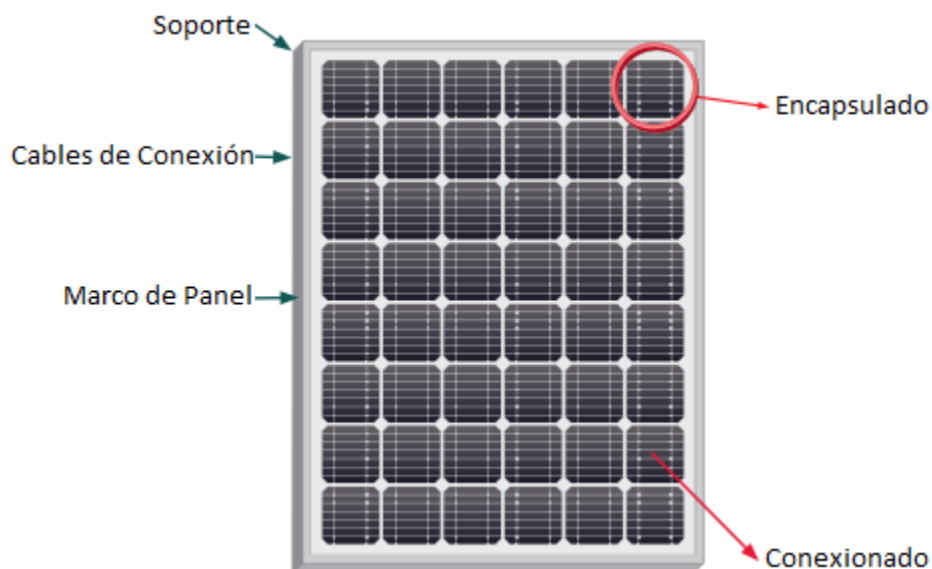
**Figura 5.** Elementos de la microgeneración fotovoltaica

Fuente: (Bigorda, 2017)

### 2.3.9. Panel fotovoltaico

El panel fotovoltaico o también llamado módulo fotovoltaico está constituido por un grupo de células solares, conectadas entre sí, todas estas debidamente encapsuladas y armadas sobre una estructura de soporte o marco. Genera tensión continua con valores específicos de 6V, 12V, 24V, etc., esta será la tensión con la que trabajará el sistema fotovoltaico. (Díaz, 2010)

El panel fotovoltaico consta de 5 componentes como se muestran en la figura 6.



**Figura 6.** Componentes Panel Fotovoltaico


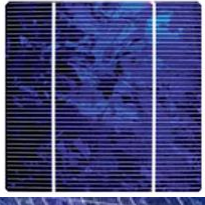

Fuente: (Díaz, 2010)

- **Soporte:** brinda una rigidez estructural
- **Cables de conexionado:** se encuentran ubicados en la parte trasera del panel
- **Marco de panel:** permite la instalación del panel sobre un soporte determinado.
- **Encapsulado:** Se encarga de proteger al panel del exterior como la abrasión, humedad, rayos ultravioleta y posibles vibraciones en el mismo. (Díaz, 2010)
- **Conexionado:** Es de fácil instalación, puede ser de 3 tipos serie, paralelo y mixto, teniendo en cuenta las características propias del panel

### **Tipos de paneles.**

Los paneles fotovoltaicos se pueden clasificar de acuerdo al material en el que se encuentra construidos como: silicio mono cristalino, silicio policristalino, silicio amorfo, a continuación, en la tabla 2 se detalla las características de cada uno de estos paneles.

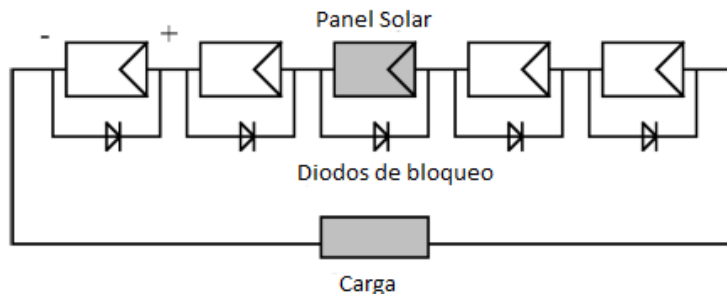
**Tabla 2***Tipos de paneles fotovoltaicos*

Células	Silicio	Rendimiento laboratorio	Rendimiento Directo	Características	Fabricación
	Monocrystalino	24 %	15 – 18 %	Son típicos los azules homogéneos y la conexión de las células individuales entre sí.	Se obtiene de silicio puro fundido y dopado con boro.
	Policristalino	19 – 20 %	12 – 14 %	La superficie está estructurada en cristales y contiene distintos tonos azules	Igual que el del monocrystalino, pero se disminuye el número de fases de cristalización.
	Amorfo	16 %	< 10 %	Tiene un color homogéneo [marrón], pero no existe conexión visible entre las células.	Tiene la ventaja de depositarse en forma de lámina delgada y sobre un sustrato como vidrio o plástico.

Fuente: (Díaz, 2010)

**Conexión de paneles fotovoltaicos.**

- **Serie:** La conexión en serie de los paneles permite que la tensión de salidas sea la suma de todos los paneles conectados, mientras que la corriente será la proporcional de un panel. En este tipo de conexión si uno de los paneles falla, puede ser que todo el conjunto deje de funcionar, para evitar esta falla se recomienda utilizar diodos de bloqueo, para que la corriente siga su camino como se muestra en la figura. (Álvarez & Vaca, 2014)

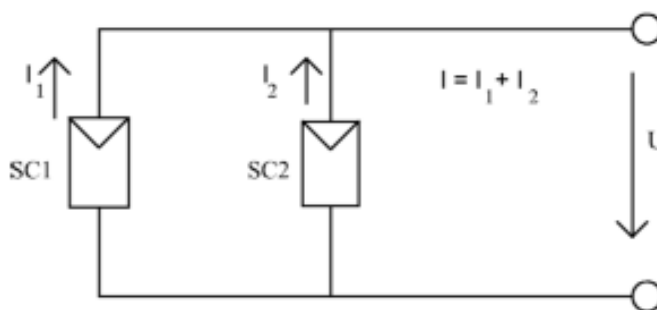


**Figura 7.** Paneles Fotovoltaicos conectados en serie

Fuente: (Álvarez & Vaca, 2014)

Este tipo de conexión permite aumentar la tensión de salida en los extremos del panel equivalente.

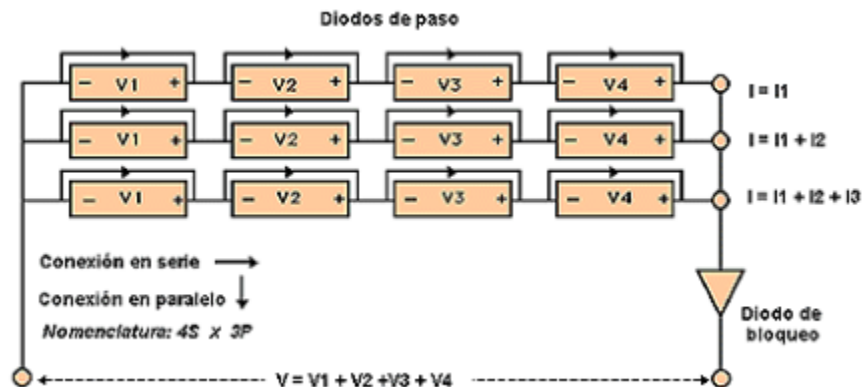
- **Paralelo:** en este tipo de conexión la tensión es proporcional a la de un solo panel, pero la corriente será la suma de todos los paneles conectados, y también permite aumentar la potencia mediante la suma de las corrientes de cada panel conectado. El tipo de conexión se muestra en la figura 8. (Álvarez & Vaca, 2014).



**Figura 8.** Paneles fotovoltaicos conectados en paralelo

Fuente: (Álvarez & Vaca, 2014)

- **Mixta:** este tipo de conexión es común cuando se necesita diferentes tensiones y potencias, pueden combinarse en serie-paralelo como se muestra en la figura 9. (Álvarez & Vaca, 2014)



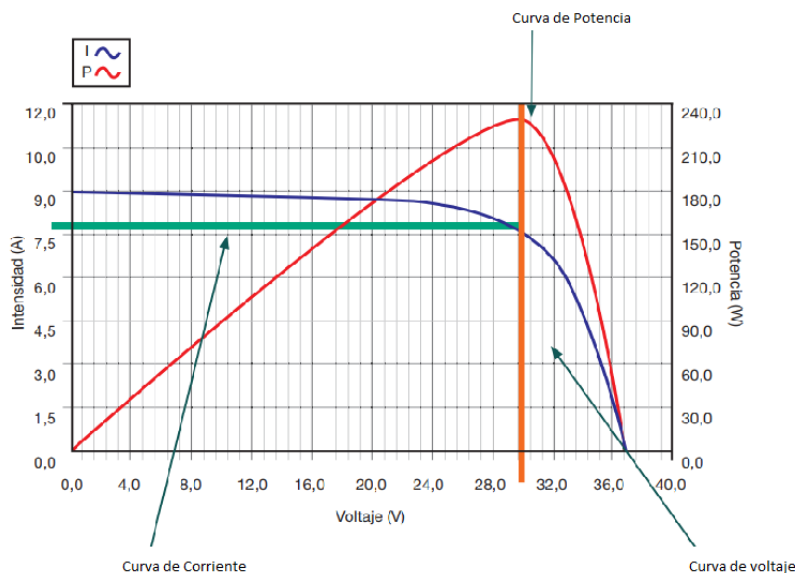
**Figura 9.** Conexión de paneles fotovoltaicos mixta

Fuente: (Álvarez & Vaca, 2014)

### Principales parámetros de paneles fotovoltaicos

Cuando se utilizan paneles fotovoltaicos se deben conocer los distintos parámetros que ofrece el fabricante, con el fin de utilizarlos correctamente en el diseño. Entre los parámetros ofrecidos que proporciona el fabricante se tiene la curva de corriente, voltaje, potencia, características físicas y variación de parámetros con la temperatura.

- **Curvas de Corriente, voltaje y potencia:** el fabricante proporciona esta información para adquirir la potencia máxima ( $P_{mpp}$ ), tensión en el máximo punto de potencia ( $V_{mpp}$ ), intensidad en el punto máximo de potencia ( $I_{mpp}$ ), intensidad de cortocircuito ( $I_{sc}$ ), tensión en circuito abierto ( $V_{oc}$ ), las curvas se pueden visualizar en la figura 10.



**Figura 10.** Curvas voltaje, corriente, potencia

Fuente: (Díaz, 2010)

- **Características físicas:** El fabricante nos ofrece la descripción del aspecto físico del panel fotovoltaico como peso, medidas, material del que está construido, entre otros. Estas características se deben considerar al momento de elegir los soportes para la sujeción del panel. En la siguiente figura se puede ver las características físicas de un panel. (Díaz, 2010)

**Tabla 3**

*Características físicas de un panel fotovoltaico*

Características del Producto
• Vidrio solar altamente transparente de 4 mm. Y marco de aluminio anodizado para una perfecta estabilidad y una larga duración
• Células mono cristalinas de 156x156 mm con elevados niveles de eficiencia
• Conexiones eléctricas con conectores Tyco
• Potencias: 221Wp, 224 Wp, 227 Wp, 230 Wp, 233Wp.
• Tensión nominal del sistema: 1000 V.
• Medidas 1.6794x998x40 mm.
• 23 kg.

Fuente: (Díaz, 2010)

- **Variación de Parámetros con la Temperatura:** El fabricante nos ofrece los coeficientes de temperatura que se deben considerar a la hora de instalar el panel, estos coeficientes nos ayudan a tener una idea de los cambios en los parámetros del panel cuando varía la temperatura. Los coeficientes de temperatura en un panel se visualizan en la figura 12. (Díaz, 2010)

**Tabla 4**

*Coeficientes de temperatura de un panel*

Coeficientes de temperatura		
<b>Coeficiente de potencia</b>	$T_k (P_{mpp})$	-0.44 %/°C
<b>Tensión de vacío</b>	$T_k (V_{oc})$	-126 mV/°C
<b>Corriente en cortocircuito</b>	$T_k (I_{sc})$	2.1 mA/°C

Fuente: (Díaz, 2010)

### **Orientación de los paneles fotovoltaicos.**

Los paneles solares son capaces de generar electricidad cuando no se dispone de luz solar directa, es decir aun en días nublados generara energía, para que el panel funcione en óptimas condiciones el panel debe estar orientado de la mejor manera posible hacia el sol, para aprovechar al máximo la luz solar directa. (Álvarez & Vaca, 2014)

La orientación que se recomienda en la provincia de Cotopaxi, ciudad Latacunga es hacia al norte debido a la posición geográfica de esta ciudad, esto puede variar dependiendo del ángulo con el que el sol incide en la tierra.

#### **2.3.10. Inversor**

Los inversores son los encargados de convertir la corriente directa proveniente de cualquier fuente DC y convertirla en corriente alterna AC. Para poder utilizar los inversores en sistemas fotovoltaicos, depende del tipo de conexión que se vaya a utilizar como en sistemas fotovoltaicos autónomos el inversor está conectado a una



batería, mientras que en un sistema fotovoltaico conectado a red el inversor se conecta directamente a los paneles. (Álvarez & Vaca, 2014)

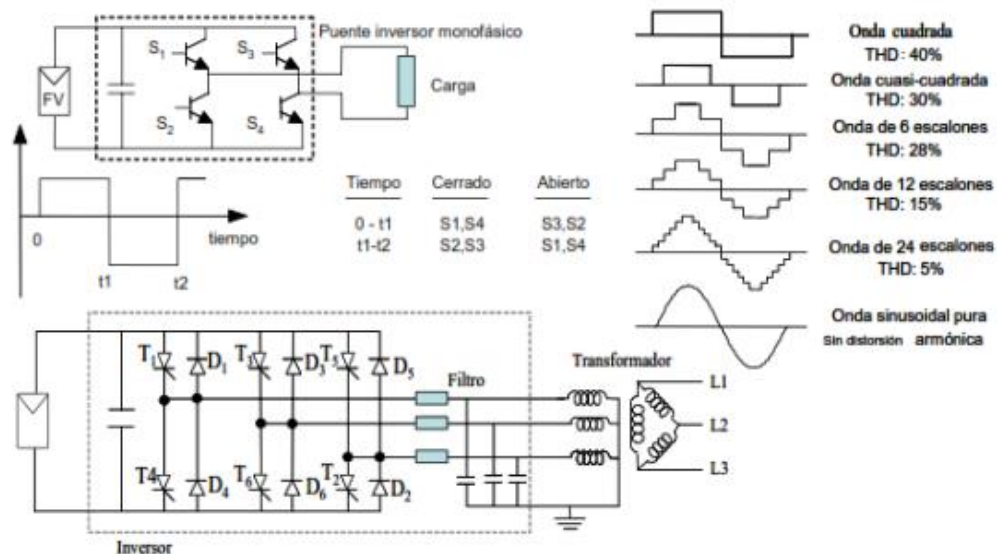
Los inversores tienen como funciones principales: inversión DC/AC, modulación de la onda alterna de salida y regulación del valor eficaz de la tensión de salida, existen inversores monofásicos, trifásicos, que pueden trabajar a 50Hz y 60 Hz con diferentes voltajes nominales de entrada con un amplio rango de potencias. (Álvarez & Vaca, 2014)

### **Características principales de un inversor**

- **Alta Eficiencia:** buen funcionamiento con potencias altas
- **Bajo consumo en vacío:** consumo mínimo sin cargas.
- **Alta fiabilidad:** resistencia a los picos de arranque
- **Protecciones contra cortocircuitos.**
- **Seguridad**
- **Buena regulación de la tensión y frecuencia de salida:** si es conectado a red debe ser compatible con la red eléctrica

### **Configuración de los inversores**

Los inversores fotovoltaicos principalmente utilizan semiconductores de potencia como los tiristores (SCR y GTO), transistores de potencia (MOSFET e IGBT). El circuito de un inversor trifásico y monofásico se muestra en la figura 11.



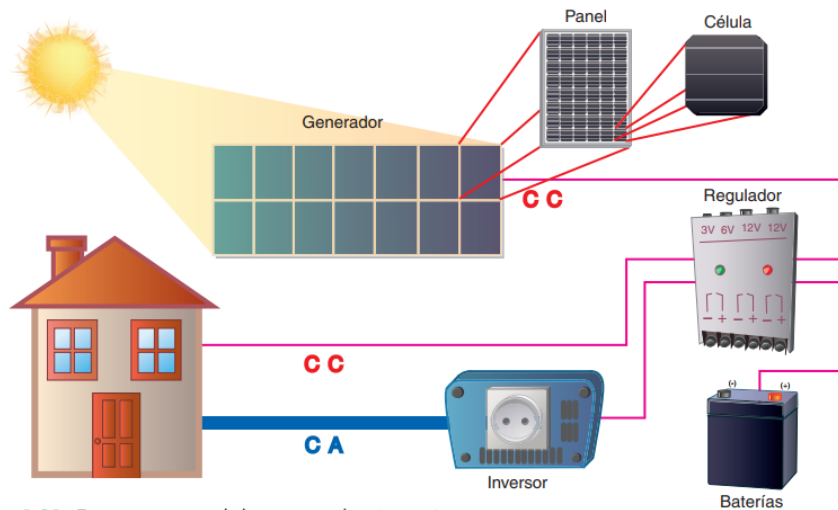
**Figura 11.** Circuito inversor monofásico y trifásico

Fuente: (Álvarez & Vaca, 2014)

### Tipos de inversores según su aplicación

El inversor es un elemento necesario en los sistemas fotovoltaicos conectados a red, y está presentes en los sistemas fotovoltaicos aisladas, principalmente utilizadas en electrificación de viviendas.

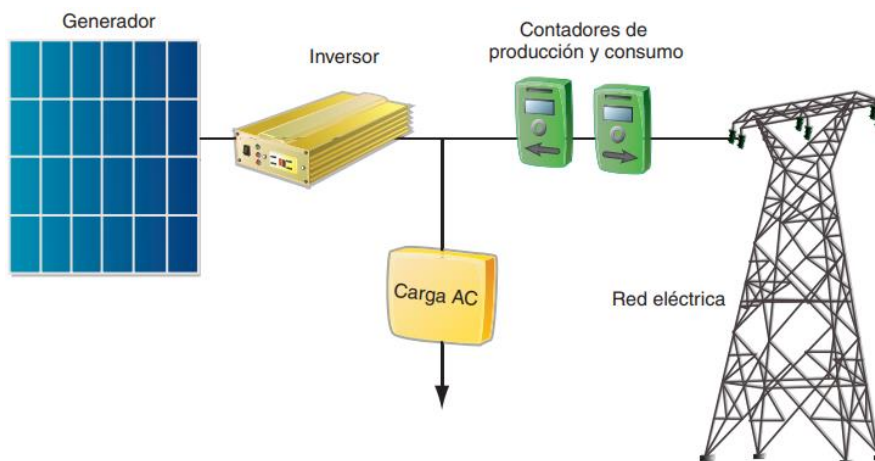
- **Inversores para sistemas aislados:** operan normalmente conectados a un banco de baterías que suministran las cargas de AC del sistema. Estos inversores necesariamente requieren de un regulador de carga que ayuda a detectar el estado de carga del banco de baterías con el fin de evitar una sobre carga. El modo de conexión del inversor para sistema aislado se muestra en la figura 12. (Álvarez & Vaca, 2014)



**Figura 12.** Conexión del inversor para sistema aislado

Fuente: (Díaz, 2010)

- **Inversores para sistemas conectados a red:** debe proporcionar una corriente alterna que tenga los mismos parámetros de la red eléctrica a la cual estará conectada, ya sea su forma de onda (sinusoidal), valor eficaz (120 V), y principalmente la frecuencia (60 Hz); todo esto con el fin de que no existan perturbaciones en la red eléctrica. El modo de conexión de un inversor para sistema conectado a red se muestra en la figura 13. (Díaz, 2010)



**Figura 13.** Conexión del inversor conectado a red

Fuente: (Díaz, 2010)

### 2.3.11. Protecciones usadas en sistemas fotovoltaicos

Existen distintos tipos de conexiones en un sistema fotovoltaicos que se las puede denominar: equipo de protecciones Nivel 1, equipo de protección Nivel 2, equipo de protección salida del inversor (PCA). (Cahors, 2013)

#### Equipo de protección de paneles (Nivel 1)

Estos equipos permiten la protección de sobre corrientes y sobre voltajes a los paneles fotovoltaicos, constan de un interruptor de corte en carga, que permite cortar la línea del panel, que permite realizar tareas de mantenimiento. Estos equipos vienen con fusibles que protegen 2 polos (positivo y negativo) de posibles sobre intensidades. Se puede observar una caja de protección nivel 1 en la figura 14. (Cahors, 2013)



**Figura 14.** Protección Nivel 1

Fuente: (Cahors, 2013)

#### Protecciones del inversor (Nivel 2)

Estos equipos permiten la protección de sobre corrientes y sobre voltajes al inversor o grupo de inversores que constan de un interruptor de corte en carga, que permite cortar toda una instalación, que permite realizar tareas de mantenimiento. Estos equipos vienen con fusibles que protegen 2 polos (positivo y negativo) de posibles sobre intensidades. Se puede observar una caja de protección nivel 2 en la figura 15. (Cahors, 2013)



**Figura 15.** Protecciones nivel 2

Fuente: (Cahors, 2013)

### **Equipo de protección salida del inversor.**

Está diseñado para la protección de la línea desde la salida del inversor y dispone de un interruptor magneto térmico y de un interruptor diferencial, se puede ver la caga de protección a la salida del inversor en la figura 16. (Cahors, 2013)



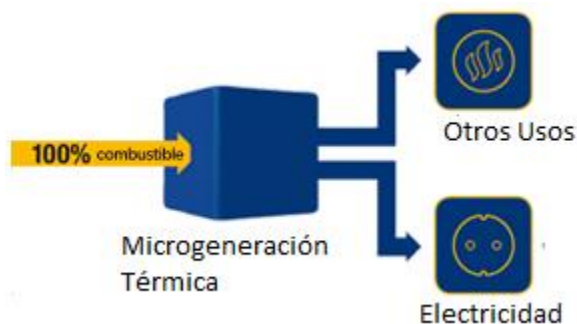
**Figura 16.** Protección salida del inversor

Fuente: (Cahors, 2013)

### **2.3.12. Microgeneración Térmica**

La microgeneración térmica es la producción de electricidad a partir de la combustión de combustible fósil ya sea diésel, oíl, o gas en un motor de combustión interna.

La microgeneración se trata de equipos de pequeña potencia (de menos de 10 kW). Este tipo de generación permite ahorros de hasta un 40 % de energía primaria, pues se reducen las pérdidas de energía en el transporte y distribución de electricidad. Un esquema general de microgeneración térmica se puede visualizar en la figura 17.



**Figura 17.** Microgeneración Térmica

Fuente: (Fernandez, 2015)

### Características de la microgeneración térmica

Entre algunos de los aspectos más importantes de la microgeneración están:

- Aumentar el rendimiento en la generación de energía hasta en un 90%
- Dentro de la generación de electricidad con esta tecnología también se produce calor que se puede utilizar para otros usos como calefacción o proporcionar frío.
- Es una buena alternativa en lugares aislados.
- Permite el auto abastecimiento eléctrico. (Fenercom, 2012)

### Ventajas y desventajas

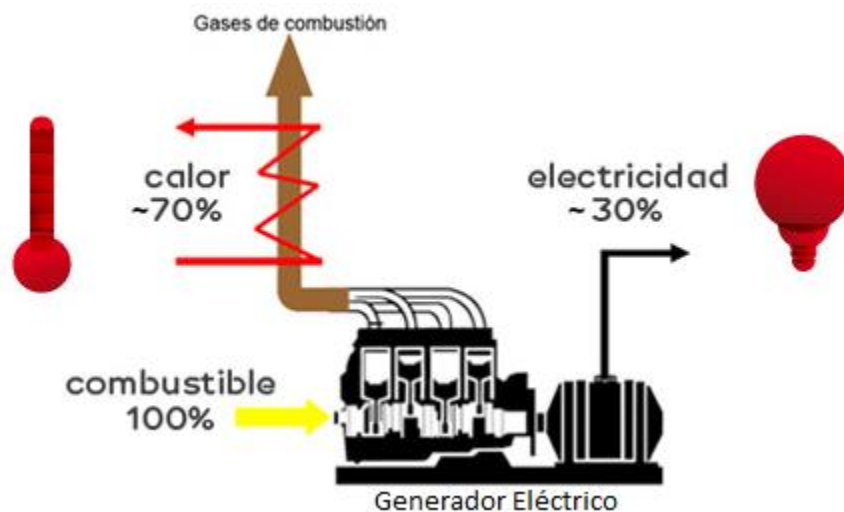
**Tabla 5**

*Ventajas y desventajas de microgeneración térmica*

<b>Ventajas</b>	<b>Desventajas</b>
Permite auto abastecimiento eléctrico	Costo del Combustible
Ahorro Energético	Potencia instalada limitada
Alta eficiencia	Gases de Contaminación
Varios usos	Alto costo de contaminación

### 2.3.13. Elementos de la microgeneración térmica

Un sistema básico de la microgeneración térmica se puede resumir en la figura 18 mostrada a continuación.



**Figura 18.** Elementos de microgeneración térmica

Fuente: (HC Energía, 2018)

Los componentes de la microgeneración térmica principalmente son cuatro: generador eléctrico, combustible, carga, protecciones eléctricas.

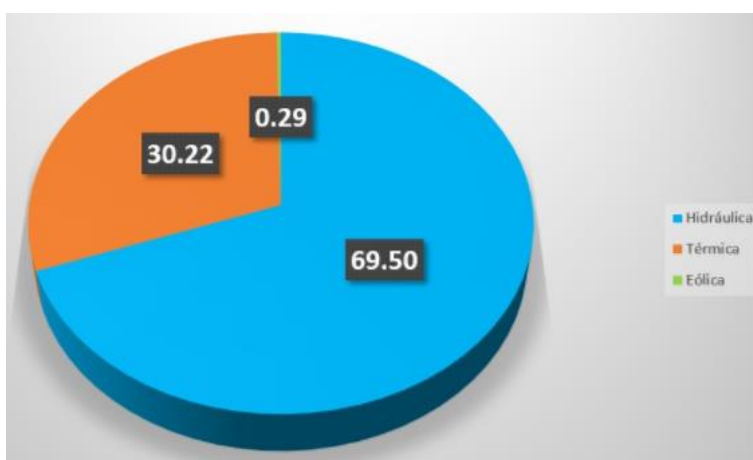
- **Generador Eléctrico:** es uno de los dispositivos más utilizados en la actualidad por la capacidad que tiene de transformar la energía mecánica en energía eléctrica con la utilización de un combustible.
- **Combustible:** el tipo de combustible que usara en la generación depende exclusivamente del modelo de generador eléctrico, variando su capacidad y puede tener una autonomía por lo general de 6 a 8 horas.
- **Carga:** son los dispositivos que van a ser energizados por medio de la generación.
- **Protecciones eléctricas:** equipos que ayudan a proteger el generador contra sobrecargas, para alargar la vida útil del mismo.

### 2.3.14. Suministros de energía eléctrica en Ecuador.

La Corporación Eléctrica del Ecuador (CELEC) es una compañía estatal encargada de generar y de abastecer de energía eléctrica al país y bajo el control del Consejo Nacional de Electricidad (CONELEC).

La CELEC tiene una capacidad instalada de 5.754 megavatios (MW) mientras que su producción de energía es de alrededor de 19.666 gigavatios hora al año (GW h/año) lo que representa el 86% del consumo nacional.

Para abastecer la capacidad instalada, el Ecuador consta de generación hidráulica, generación térmica y generación eólica, pero en un mínimo porcentaje que se puede apreciar en la figura 19.



**Figura 19** Capacidad instalada CELEC EP 2016

Fuente: (CELEC EP, 2016)

### 2.3.15. Fiabilidad del suministro eléctrico

La fiabilidad en un sistema de energía eléctrica se trata de satisfacer la demanda de electricidad con un mínimo coste posible y con una fiabilidad aceptable a largo plazo.

Para medir o cuantificar la fiabilidad de un sistema se analiza el funcionamiento de un sistema de energía eléctrico principalmente en la generación. Los aspectos más importantes con los que se puede analizar la fiabilidad son: número o frecuencia de



fallos, duración de fallos, incidencia de fallos. El estudio de fiabilidad puede ser utilizado para estudios de planificación de la expansión del sistema a largo plazo, debido que a mayor potencia instalada mayor fiabilidad. (Ventosa & Ramos, 2006)

#### **2.3.16. Sustentabilidad de energía eléctrica.**

La sustentabilidad puede ser considerada como planteamiento entre la sociedad y el medio ambiente, con la finalidad de que la generación sea perdurable a largo plazo y que se tenga responsabilidad en la misma y con generaciones futuras. (Jiménez, 2000)

La energía sustentable es un elemento muy importante en la vida moderna y es indispensable implementar sistemas energéticos más sustentables para mejorar la calidad de vida a un mayor número de personas y que con esto se cumplen las condiciones necesarias para la preservación de la vida. (Ramírez, 2012)

#### **2.4. Hipótesis.**

Con el diseño e implementación de un módulo didáctico de microgeneración distribuida entre microgeneración fotovoltaica y microgeneración térmica se podrá analizar la fiabilidad y sustentabilidad del suministro eléctrico durante el funcionamiento del mismo.

## 2.5. Operacionalización de Variables.

Tabla 6

Cuadro de Operacionalización de variables

VARIABLES	REFERENCIA CONCEPTUAL	REFERENCIA OPERACIONAL			TÈCNICAS E INSTRUMENTOS
		DIMENSIONES	INDICADORES	ITEMS	
<b>Independiente</b>	La microgeneración distribuida a partir del concepto de generación distribuida que se basa en la utilización de pequeñas unidades instaladas, cercanas a la carga y conectadas directamente al sistema de distribución eléctrico.	Dimensionamiento del sistema de microgeneración Fotovoltaica.	Potencia Voltaje	W V	Paneles fotovoltaicos
Diseño e Implementación de un módulo de microgeneración distribuida entre microgeneración fotovoltaica y microgeneración térmica.		Dimensionamiento del sistema de microgeneración térmica	Potencia	W	Generador Eléctrico
<b>Dependiente</b>	La fiabilidad en un sistema de energía eléctrica se trata de satisfacer la demanda de electricidad con un mínimo coste posible y con una fiabilidad aceptable a largo plazo. La sustentabilidad puede ser considerada como planteamiento entre la sociedad y el medio ambiente, con la finalidad de que la generación sea perdurable a largo plazo	Fiabilidad del sistema eléctrico del módulo didáctico	Energía Potencia Fallos de energía	W-h W V	Medidor de energía HMI
Análisis de la fiabilidad y sustentabilidad del suministro de energía eléctrica.		Sustentabilidad del módulo didáctico	Aspecto económico y social	\$	Desarrollo sustentable

## **CAPÍTULO III**

### **3. METODOLOGÍA**

#### **3.1. Modalidad de la Investigación.**

En el presente proyecto de investigación es necesario conocer distintos tipos de microgeneración distribuida, transferencia eléctrica, fuentes de generación de energías alternativas, usando diferentes fuentes bibliográficas como parte esencial dentro del proceso de desarrollo, para el posterior diseño del módulo.

##### **3.1.1. Investigación Bibliográfica.**

Según (Mora, 2015) la investigación bibliográfica es “la primera etapa del proceso investigativo que proporciona el conocimiento de las investigaciones ya existentes, de un modo sistemático, a través de una amplia búsqueda de: información, conocimientos y técnicas sobre una cuestión determinada.” (p.2). Para el desarrollo del presente proyecto de investigación se hace uso de varias fuentes bibliográficas que permiten identificar y acceder a la información acerca del funcionamiento de la microgeneración distribuida tanto fotovoltaica y térmica permitiendo así un correcto avance en el diseño y construcción del módulo didáctico.

##### **3.1.2. Investigación Experimental.**

Según (Arquero, 2009) la investigación experimental es “una situación simulada en la que se modifican voluntariamente las condiciones de una o diversas situaciones precedentes (variable independiente) para comprobar cómo afecta esta variable independiente otra situación consiguiente (variable dependiente) que se observa sistemáticamente.” (p.2). Este tipo de investigación utiliza técnicas, métodos y distintas actividades para la formación de una hipótesis y recolección de datos indispensables para la construcción del módulo de microgeneración distribuida. Se obtiene información mediante variables físicas que permitirán analizar el funcionamiento del módulo para poder realizar cambios respectivos antes de su instalación.

## **3.2. Tipos de Investigación.**

### **3.2.1. Cuantitativo.**

La obtención de datos de parámetros eléctricos y fotovoltaicos se la realizo mediante los sensores de voltaje y rayos UV para Arduino, luego se procedió al acondicionamiento de señales para su posterior interpretación en el módulo didáctico.

## **3.3. Diseño de la Investigación.**

El proyecto de investigación tiene como finalidad observar y entender cómo se realiza la transferencia entre dos tipos de microgeneración visualizando los voltajes, corrientes, potencia y energía generadas, visualizadas todas en HMI, siendo todos los parámetros antes mencionados comprobados en tiempo real.

### **3.3.1. Método de hallazgo inductivo.**

Busca el análisis previo mediante la obtención de voltajes mediante los sensores para obtener los parámetros de diseño, para el acondicionamiento de señales que ingresan al Arduino.

### **3.3.2. Método de hallazgo deductivo.**

Debido a la necesidad de un módulo de microgeneración distribuida se procede a su diseño y posterior construcción, este módulo contiene sensores, micro controlador, PLC, usados para realizar la transferencia eléctrica y visualizar voltajes, potencias y energías, dichos parámetros permitirán analizar la fiabilidad y sustentabilidad del módulo didáctico.

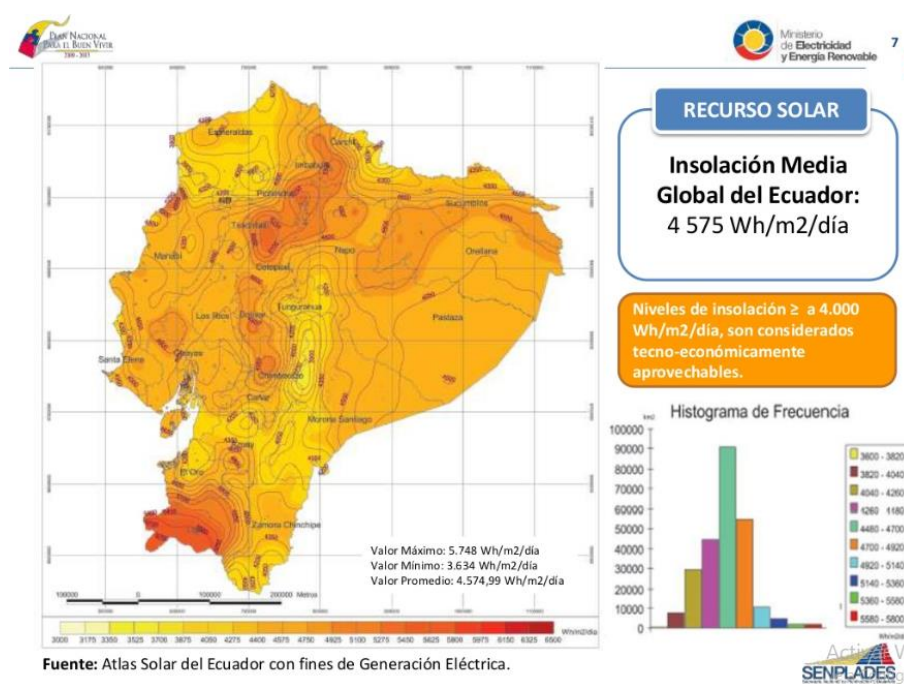
## **3.4. Niveles de Investigación.**

### **3.4.1. Exploratoria.**

En la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE de la ciudad de Latacunga no se dispone de un módulo didáctico de microgeneración distribuida necesario para el análisis de fiabilidad y sustentabilidad en el laboratorio de accionamientos eléctricos.

### 3.5. Datos existentes

Para el análisis de la irradiación solar en Cotopaxi se tomó datos de la SENPLADES mostrados en la figura 20.



**Figura 20.** Irradiación Ecuador

Fuente: (SENPLADES, 2008)

Los siguientes datos obtenidos son recolectados del INER (Instituto Nacional de Eficiencia Energética y Energías Renovables), en la imagen se 21 se muestra la frecuencia relativa de días claros por mes.

LONG	LAT	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Annual
-77.5	-2.5	0.19	0.21	0.17	0.10	0.10	0.12	0.12	0.13	0.12	0.14	0.14	0.25	0.15
-78.5	-2.5	0.15	0.11	0.07	0.12	0.11	0.14	0.08	0.15	0.16	0.15	0.15	0.12	0.13
-79.5	-2.5	0.16	0.12	0.10	0.18	0.24	0.18	0.19	0.15	0.17	0.21	0.20	0.15	0.17
-80.5	-2.5	0.22	0.22	0.21	0.16	0.22	0.27	0.34	0.26	0.21	0.14	0.09	0.14	0.21
-77.5	-3.5	0.19	0.15	0.17	0.15	0.19	0.16	0.20	0.21	0.12	0.12	0.13	0.14	0.16
-78.5	-3.5	0.17	0.14	0.16	0.10	0.11	0.12	0.10	0.17	0.16	0.11	0.18	0.17	0.14
-79.5	-3.5	0.22	0.11	0.11	0.12	0.17	0.20	0.18	0.11	0.16	0.22	0.16	0.23	0.17
-80.5	-3.5	0.20	0.20	0.20	0.08	0.13	0.18	0.22	0.17	0.11	0.06	0.08	0.10	0.15
-77.5	-4.5	0.21	0.18	0.20	0.16	0.15	0.09	0.15	0.16	0.11	0.11	0.12	0.17	0.15
-78.5	-4.5	0.20	0.17	0.19	0.11	0.09	0.16	0.16	0.15	0.23	0.15	0.19	0.16	0.17
-79.5	-4.5	0.17	0.11	0.11	0.14	0.16	0.21	0.10	0.12	0.13	0.12	0.19	0.15	0.14
-80.5	-4.5	0.16	0.15	0.11	0.13	0.15	0.10	0.08	0.06	0.07	0.08	0.10	0.09	0.11
-77.5	-5.5	0.22	0.22	0.25	0.18	0.13	0.13	0.13	0.08	0.13	0.14	0.20	0.19	0.17
-78.5	-5.5	0.18	0.18	0.16	0.07	0.09	0.13	0.18	0.13	0.16	0.10	0.17	0.14	0.14
-79.5	-5.5	0.16	0.16	0.10	0.15	0.17	0.25	0.13	0.09	0.07	0.10	0.17	0.12	0.14
-80.5	-5.5	0.16	0.13	0.12	0.13	0.18	0.18	0.15	0.08	0.08	0.07	0.10	0.09	0.12

**Figura 21.** Frecuencia días claros

Fuente: (INER, 2014)

LON	LAT	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Annual
-77.5	-2.5	79.3	81.1	83.1	80.5	78	77.8	76.4	74.5	77.7	77.2	77.6	79.5	78.5
-78.5	-2.5	75.7	79.3	80.3	78.9	76.2	70.4	70	69.7	74.7	79.9	77.7	75.3	75.6
-79.5	-2.5	70.1	72.2	68.4	66.2	64.9	60	60.7	56.5	63.7	72.3	69.2	66.8	65.9
-80.5	-2.5	54.6	60.4	53.3	47.7	46.2	51.2	59.5	60	61.6	63.8	56.6	48.6	55.2
-77.5	-3.5	78.9	80.9	82.5	80.1	77.2	76.5	73.3	70.4	73.5	74.5	75.6	78	76.8
-78.5	-3.5	76	78.1	78.9	78.1	75.2	70.1	71.8	71.7	75.5	78.2	75.8	75.7	75.4
-79.5	-3.5	68.7	71.2	68.6	66.2	64.2	56.4	56.9	55.5	63.9	72.4	68.5	66.5	64.9
-80.5	-3.5	53.3	58.2	52.9	46.2	42.4	39.1	46.5	48.9	48.4	51.4	44.1	42.4	47.8
-77.5	-4.5	80.5	82.1	82.4	78.3	74.3	72.1	68.6	64.9	69	72.8	74.1	79	74.8
-78.5	-4.5	78.8	80	80.1	77.9	73.5	67.3	68.9	68.3	71.6	75.9	75.9	77.4	74.6
-79.5	-4.5	69	73.7	70.6	66	56.5	43.8	40.4	37.2	43.5	54.9	54.5	60.6	55.8
-80.5	-4.5	57.1	64.6	58.5	52.2	45.6	36.4	38.2	34.6	37.1	43.3	41.1	48.1	46.3
-77.5	-5.5	82.5	83.1	83.5	79.1	73.9	70.1	67.9	68.7	73.6	78.2	78.5	81	76.6
-78.5	-5.5	79.9	80.9	80.6	77.7	71.3	65.8	66.4	66.7	70.5	75.5	73.2	76.6	73.7
-79.5	-5.5	66.4	73.4	66.6	61.6	53.5	43.1	43.7	41.3	44	54.6	53.9	58.5	54.9
-80.5	-5.5	50.6	55.1	50.4	45.6	44.6	46.7	52.3	51.1	52.6	53.8	49.2	45.5	49.8

**Figura 22.** Porcentaje de días despejados

Fuente: (INER, 2014)

### **3.6. Instrumentos.**

Para la obtención de datos de los parámetros eléctricos se utiliza, gráficas y curvas de voltaje proporcionado por los sensores de voltaje.

### **3.7. Validez y confiabilidad**

Para el procesamiento de la información se seguirán varios procedimientos en base a criterios establecidos como:

- Revisión crítica de la información recogida: es decir, limpieza de la información defectuosa, contradictoria, incompleta, no pertinente, etc.
- Repetición de la recolección, en ciertos casos individuales, para corregir fallas de medición.
- Manejo de información (mediante gráficos y diagramas que asocian a las variables y a los parámetros involucrados, y utilizando también tablas explicativas) con el apoyo de herramientas informáticas.
- Estudio estadístico de los datos para la presentación de los resultados.

### **3.8. Técnica de análisis de datos.**

Para el procesamiento de los datos recopilados, se procede mediante los siguientes criterios:

- Observación de los elementos muestrales y pruebas piloto
- Recolección o captura de datos
- Análisis de datos
- Calculo de parámetros
- Interpretación y reporte

### **3.9. Técnica de comprobación de datos.**

- Análisis de los resultados estadísticos, destacando relaciones fundamentales de acuerdo con los objetivos e hipótesis.
- Interpretación de los resultados.

- Comprobación de la hipótesis planteada.
- Establecimiento de conclusiones y recomendaciones en base a los objetivos de la investigación.

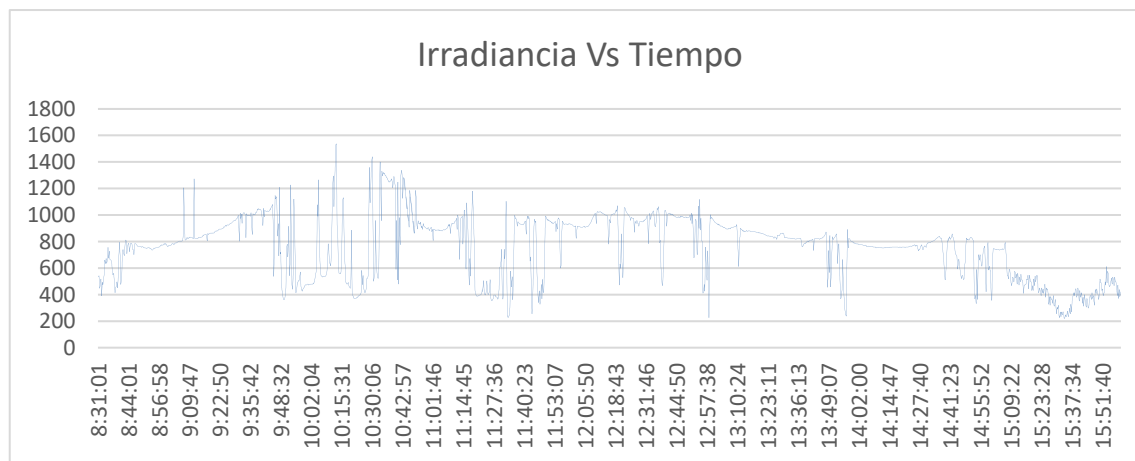
### 3.10. Análisis de irradiación solar en el punto de implementación del módulo didáctico.

#### 3.10.1. Recurso solar en el Ecuador.

Según los datos de la SENPLADES el recurso solar en el Ecuador tiene una media de  $4575 \text{ Wh/m}^2/\text{día}$ , cuando el valor de irradiación supera los  $4000 \text{ Wh/m}^2/\text{día}$  es considerado un recurso tecno-económicamente aprovechable. La Provincia de Cotopaxi tiene valores de irradiación entre  $5275\text{-}5450 \text{ Wh/m}^2/\text{día}$ , siendo un lugar óptimo para aprovechar este recurso renovable,

#### 3.10.2. Irradiancia en el punto de implementación

Para el análisis de irradiación en el punto de implementación del módulo se tomaron los valores en un día en el mes de abril del 2018 desde las 8:30 hasta las 16:00 obteniendo la siguiente gráfica de irradiancia como se muestra en la figura 23.

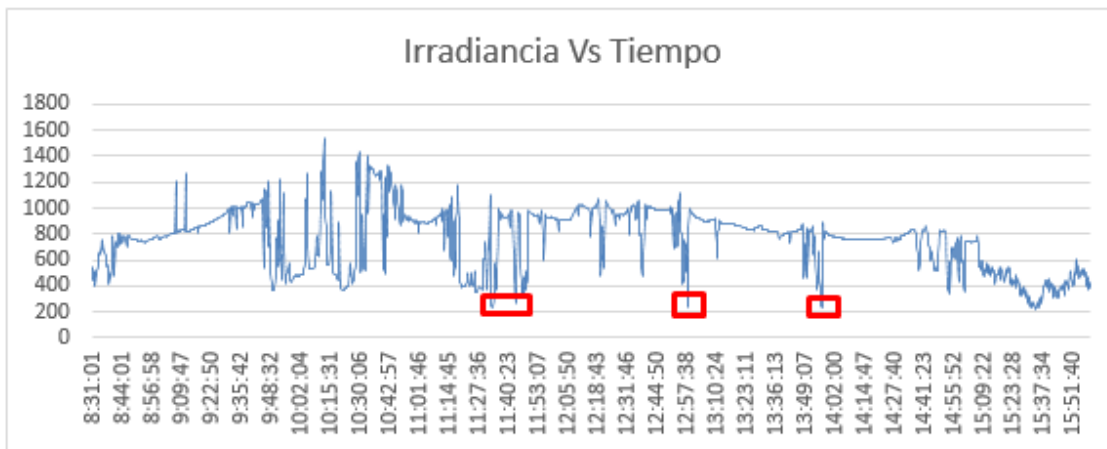


**Figura 23.** Irradiancia abril 2018

Como se puede observar en la figura anterior la irradiancia es extremadamente variable, teniendo puntos altos y muy bajos, para el funcionamiento del módulo se recomienda que se tenga una irradiancia de  $600 \text{ w/m}^2$  en adelante, en los puntos bajos



de irradiación como se muestra en la figura 24 es muy probable que el sistema térmico entre en funcionamiento dependiendo de las cargas que estén funcionando en el módulo, de 8:00 hasta 9:00 y 15:30 en adelante no es recomendable usar el módulo por los bajos valores de irradiancia.



**Figura 24.** Puntos bajos de irradiación

## CAPÍTULO IV

### 4. DISEÑO Y SELECCIÓN

#### 4.1. Diseño Estructural del módulo didáctico

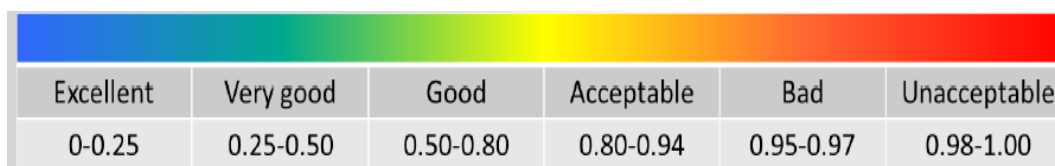
##### 4.1.1. Análisis computacional del módulo didáctico

La estructura del módulo esta realizado en acero lo que permite soportar el peso de los diferentes componentes que estarán ubicados en la parte interior y en la parte frontal del módulo.

El presente diseño y análisis del módulo se le realizo en el software SOLIDWORKS, el cual permitió calcular todos los esfuerzos máximos y mínimos que soportara la estructura debido a los componentes eléctricos como relés, contactores, cargas, etc.

#### Mallado Estructural

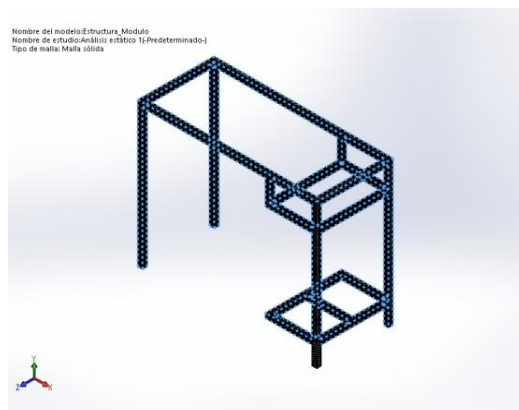
El Análisis del módulo didáctico comienza con la creación de la malla estructural que se da según el criterio de Skewness, que tiene valores de 0 a 1, si el mallado que se está realizando se encuentra entre los valores de excelente y aceptable la operación está bien realizada



**Figura 25.** Espectro Skewness para calidad de malla

Figura: (SOLIDWORKS, 2017)

En la figura 26 se puede observar el mallado que se aplicó a la estructura del módulo didáctico, este mallado es fino para tener un mejor resultado en los análisis estáticos que se le van a aplicar



**Figura 26.** Mallado módulo didáctico

Fuente: (SOLIDWORKS, 2017)

Los criterios que se aplicaron para el mallado de la anterior figura se muestran en la tabla 8.

**Tabla 7**

*Informe malla estructural*

<b>Tipo de malla</b>	Malla sólida
<b>Mallador utilizado:</b>	Malla estándar
<b>Puntos jacobianos</b>	4 Puntos
<b>Tamaño de elementos</b>	0.920733 cm
<b>Tolerancia</b>	0.0460367 cm
<b>Trazado de calidad de malla</b>	Elementos cuadráticos de alto orden

Fuente: (SOLIDWORKS, 2017)

$$ES = \frac{TOLERANCIA}{TAMAÑO DE ELEMENTOS}$$

$$ES = \frac{0,0460367 \text{ cm}}{0,920733 \text{ cm}}$$

$$ES = 0,0500$$

Utilizando la ecuación de Skewness se determinó que el mallado está bien realizado, obteniendo un valor de 0,0500 que según la figura 20 el resultado es de EXCELENTE según el criterio de Skewness.

#### 4.1.2. Factor de seguridad

El factor de seguridad que se obtendrá, viene del cociente entre el valor del límite elástico del material que en este caso es acero ASTM A36 y el valor máximo esperado de Von Mises al cual se va a someter el elemento. Para tener un factor de seguridad aceptable el valor debe ser mayor a 1, este valor mientras más alto sea será mejor el diseño

##### Factor de seguridad del módulo didáctico.

Para obtener el factor de seguridad del mismo, se aplicó una fuerza de 10 N perpendicular hacia abajo, en la tabla 9 se observan los detalles y la forma de la carga

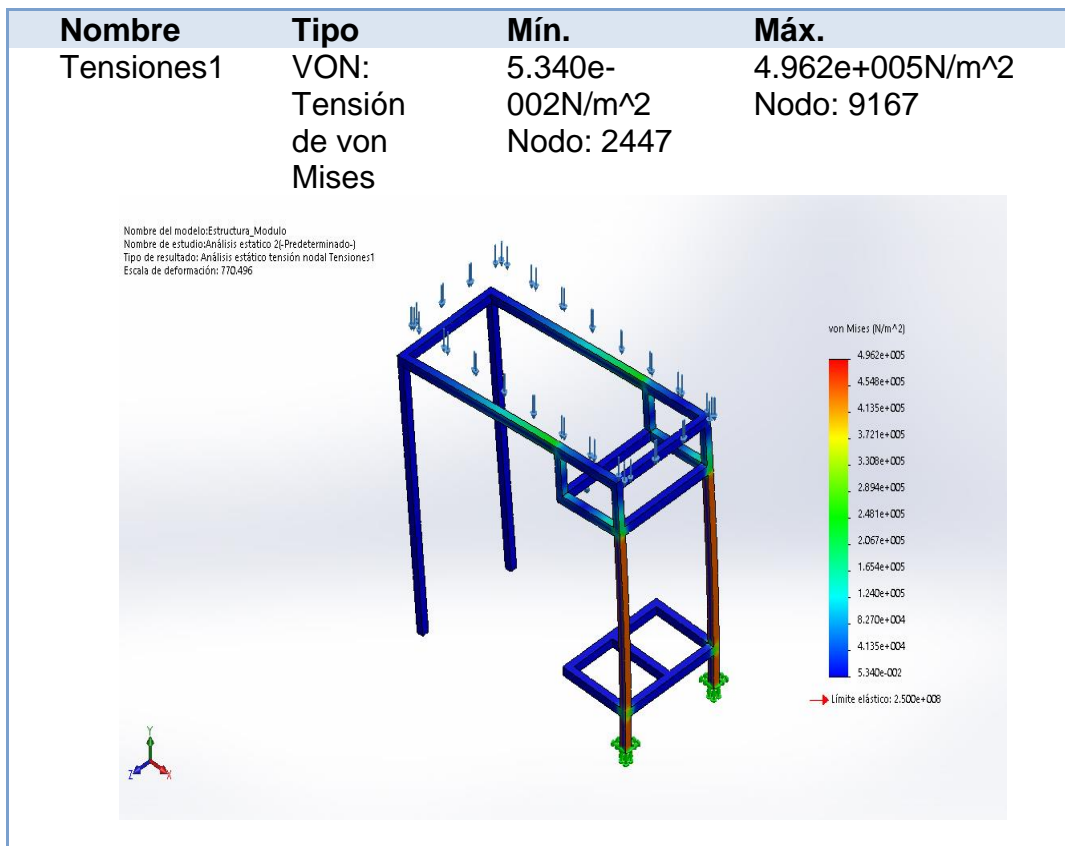
**Tabla 8**  
*Fuerza Aplicada en el módulo didáctico*

Nombre de carga	Carga imagen	Detalles de carga
Fuerza1		<p><b>Entidades:</b> 1 cara(s), 1 Sólido(s)</p> <p><b>Tipo:</b> Aplicar fuerza normal</p> <p><b>Valor:</b> 10 N</p>

Fuente: (SOLIDWORKS, 2017)

En la tabla 10 se puede observar los valores Von Mises que soporta el módulo didáctico

**Tabla 9**  
Valores Von Mises Módulo Didáctico



Fuente: (SOLIDWORKS, 2017)

$$FS = \frac{LIMITE ELASTICO DEL MATERIAL}{ESFUERZO MAXIMO DE VON MISES}$$

$$FS = \frac{250MPa}{496kPa}$$

$$FS = 504.03$$

Se calculó que el factor de seguridad del módulo didáctico es de 504.03 comprobando que su diseño es el correcto.

## 4.2. Diseño estructural del soporte de paneles solares.

### 4.2.1. Análisis computacional del soporte de paneles solares

En la realización de la estructura de soporte para el panel fotovoltaico, se diseña a partir de tubo rectangular para la base y láminas para el soporte de los paneles, y estará recubierto por pintura para un mejor acabado y resistencia a la corrosión, en la figura 27 se muestra la estructura del diseño.



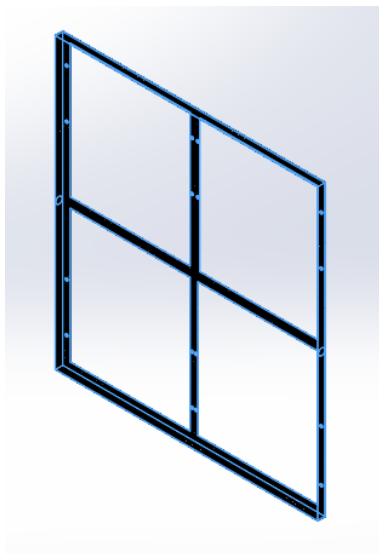
**Figura 27.** Estructura paneles

Fuente: (SOLIDWORKS, 2017)

El diseño de la estructura de los paneles es realizado en el software SOLIDWORKS que nos permite visualizar los esfuerzos máximos y mínimos que soporta la estructura al estar con los paneles.

#### **Mallado estructural base de paneles**

Para comenzar con el análisis estructural de la base de los dos paneles a usarse se debe realizar el mallado del mismo con los criterios antes tomados y usados de la figura 20, el mallado de la base de los paneles se muestra en la figura 28.



**Figura 28.** Mallado base paneles

Fuente: (SOLIDWORKS, 2017)

En la tabla 11 se puede observar la información con la que se partió para realizar el mallado de la base de los paneles

**Tabla 10**

*Información mallado estructural base de paneles*

<b>Tipo de malla</b>	Malla sólida
<b>Mallador utilizado:</b>	Malla estándar
<b>Puntos jacobianos</b>	4 Puntos
<b>Tamaño de elementos</b>	1.06578 cm
<b>Tolerancia</b>	0.0532892 cm
<b>Trazado de calidad de malla</b>	Elementos cuadráticos de alto orden

Fuente: (SOLIDWORKS, 2017)

$$ES = \frac{TOLERANCIA}{TAMAÑO DE ELEMENTOS}$$

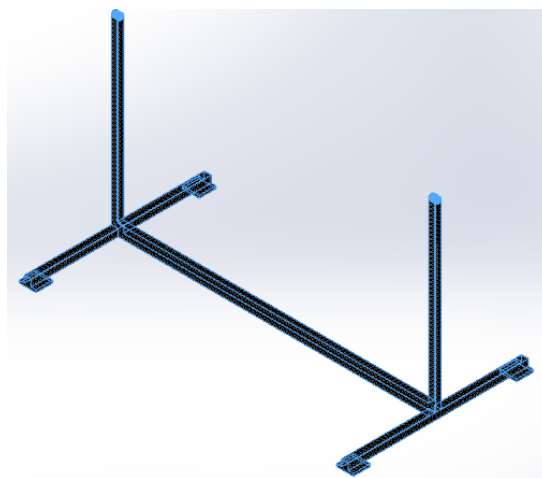
$$ES = \frac{0,0532892 \text{ cm}}{1,06578 \text{ cm}}$$

$$ES = 0,0500$$

Según el criterio de Skewness el mallado está bien realizado, por el resultado que es 0,05 siendo este un resultado excelente.

### **Mallado estructural del soporte de los paneles**

Para comenzar con el análisis estructural del soporte de los paneles a usarse se debe realizar el mallado del mismo con los criterios antes tomados y usados de la figura 20, el mallado de la base de los paneles se muestra en la figura 29.



**Figura 29.** Mallado soporte de los paneles

Fuente: (SOLIDWORKS, 2017)

En la tabla 12 se especifica las características de mallado que aplico el software SOLIDWORKS.

**Tabla 11**

*Información Mallado estructural soporte de los paneles*

<b>Tipo de malla</b>	Malla sólida
<b>Mallador utilizado:</b>	Malla estándar
<b>Puntos jacobianos</b>	4 Puntos
<b>Tamaño de elementos</b>	1.66313 cm
<b>Tolerancia</b>	0.0831564 cm
<b>Trazado de calidad de malla</b>	Elementos cuadráticos de alto orden

Fuente: (SOLIDWORKS, 2017)



$$ES = \frac{TOLERANCIA}{TAMAÑO DE ELEMENTOS}$$

$$ES = \frac{0,0831564 \text{ cm}}{1,66313 \text{ m}}$$

$$ES = 0,0490$$

Según el criterio de Skewness el mallado está bien realizado, por el resultado que es 0,0490 siendo este un resultado excelente.

#### 4.2.2. Factor de seguridad

Al igual que en la estructura del módulo se necesita sacar el factor de seguridad para asegurarse que la estructura sea segura para la instalación de los paneles.

##### Factor de seguridad base de los paneles

La fuerza que se aplico es de 235,36 N. perpendicular a la cara frontal de la base de los paneles que es a donde se va a ubicar todo el peso de los paneles, en la tabla 13 se observa lo antes explicado.

**Tabla 12**

*Fuerza aplicada a la base de los paneles*

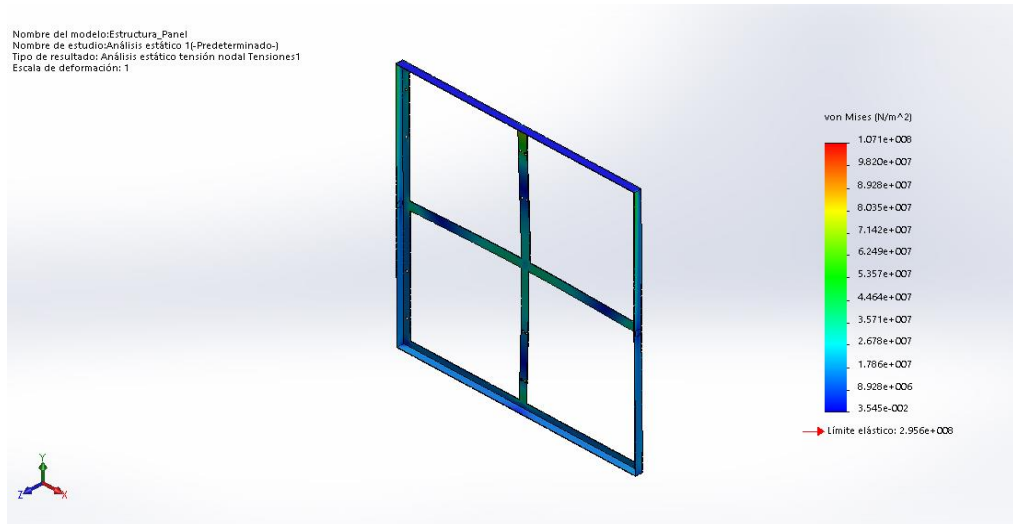
Nombre de carga	Carga imagen	Detalles de carga	
<b>Fuerza</b>		<b>Entidades:</b> <b>Tipo:</b> <b>Valor:</b>	1 cara(s) Aplicar fuerza normal 235,36N.

Fuente: (SOLIDWORKS, 2017)

En la tabla 14 se puede observar los valores máximos y mínimos Von Mises que soporta la base de los paneles.

**Tabla 13**  
Valores Von Mises base de paneles

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Tensiones1	VON: Tensión de von Mises	3.545e- 002N/m^2 Nodo: 55713	1.071e+008N/m^2 Nodo: 61621



Fuente: (SOLIDWORKS, 2017)

$$FS = \frac{LIMITE ELASTICO DEL MATERIAL}{ESFUERZO MAXIMO DE VON MISES}$$

$$FS = \frac{295MPa}{107MPa}$$

$$FS = 2.75$$

Se calculó que el factor de seguridad de la base de los paneles es de 2,75 comprobando que su diseño es el correcto.

### Factor de seguridad soporte base de paneles

La fuerza que se aplicó es de 235,36 N. perpendicular en la unión del soporte con la base de los paneles que es a donde se va a ubicar todo el peso de los paneles, en la tabla 15 se observa lo antes explicado.

**Tabla 14**  
Fuerza aplicada al soporte de los paneles

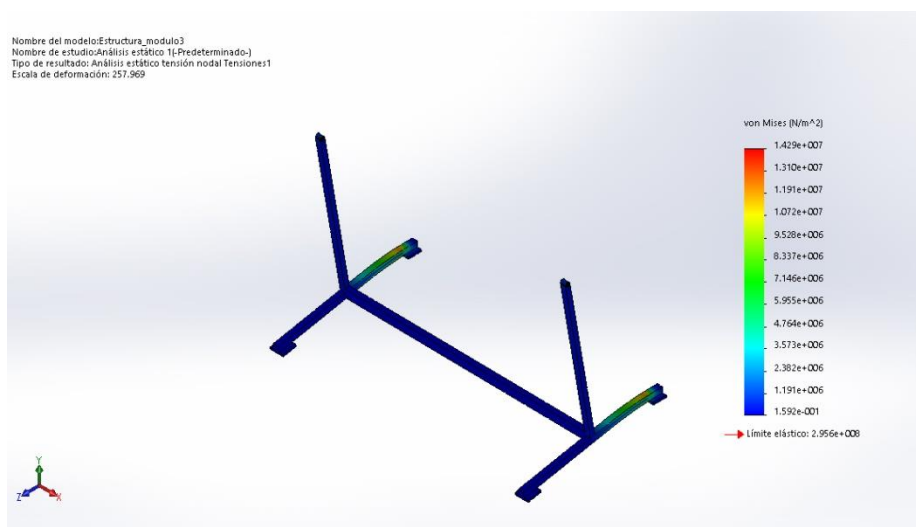
Nombre de carga	Carga imagen	Detalles de carga	
Fuerza 2		<b>Entidades</b>	2 cara(s)
		<b>Tipo:</b>	Aplicar fuerza normal
		<b>Valor:</b>	235,36 N

Fuente: (SOLIDWORKS, 2017)

En la tabla 16 se puede apreciar los valores Von Mises de tensión en sus valores máximos y mínimos

**Tabla 15**  
Valores Von Mises soporte de la base de paneles

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Tensiones1	VON: Tensión de von Mises	1.592e-001N/m <sup>2</sup> Nodo: 752	1.429e+007N/m <sup>2</sup> Nodo: 12118



Fuente: (SOLIDWORKS, 2017)

$$FS = \frac{LIMITE\ ELASTICO\ DEL\ MATERIAL}{ESFUERZO\ MAXIMO\ DE\ VON\ MISES}$$

$$FS = \frac{295MPa}{14MPa}$$

$$FS = 21.07$$

Se calculó que el factor de seguridad de la base de los paneles es de 21,07 comprobando que su diseño es el correcto.

### 4.3. Selección de los componentes

#### 4.3.1. Paneles Solares

Para realizar la selección de los paneles solares se basó en la potencia que se necesita, en este caso los paneles deben trabajar con 200W. Se adquirió dos paneles de 150Wp obteniendo una potencia total de 300Wp con lo que el módulo didáctico debe trabajar normalmente, los parámetros de cada uno de los paneles son los siguientes:

**Tabla 16.**

*Datos de placa panel fotovoltaico.*

MÓDELO ESPECIFICACIONES	SIMAX (Suzhou) Green New Energy Co., Ltd Model: SM636-150
Potencia Maxima Nominal(Pm)	150W
Tolerancia	0~+3%
Voltaje de Pmax(Vmp)	18.2V
Corriente de Pmax(Imp)	8.24A
Voltaje de Circuito Abierto (Voc)	22.5V
Corriente de Cortocircuito (Isc)	8.89A
Temperatura Nominal de Operación (NOCT)	47±2°C
Voltaje Máximo de Sistema	1000VDC
Fusibles Máximo en serie	10A

CONTINÚA 

<b>Temperatura de Operación</b>	-40°C a +85°C
<b>Clase de Aplicación</b>	A
<b>Tecnología de Celda</b>	Mono-Si
<b>Peso</b>	12Kg
<b>Dimensiones (mm)</b>	1482x676x35

Fuente: (Simax, 2005)

El panel fue seleccionado de acuerdo a su precio por lo que resulta ventajoso gracias a su uso doméstico y al utilizar dos paneles se obtiene una potencia mayor, al estar conectados en paralelo el voltaje al que trabaja se mantiene, los paneles utilizados se visualizan en la figura 30.



**Figura 30.** Panel fotovoltaico SIMAX 150W

Fuente: (Simax, 2005)

### Determinación de número de paneles

- **Características del panel:**

*V<sub>oc</sub> = voltaje de circuito abierto*

*V<sub>mp</sub> = voltaje a potencia pico*

*I<sub>cc</sub> = corriente de corto circuito*

*I<sub>mp</sub> = corriente a potencia pico*

*n = eficiencia*

$$V_{oc} = 22.5V$$

$$V_{mp} = 18.2V$$

$$I_{cc} = 8.89A$$

$$I_{mp} = 8.24A$$

$$n = 14.5\%$$

- **Energía Demandada**

**Tabla 17**

*Energía demandada en el módulo*

EQUIPO	POTENCIA (W)	TIEMPO (horas)	ENERGÍA (Wh)
LÁMPARA 1	60	1	60
LÁMPARA 2	60	1	60
LÁMPARA 3	60	1	60
LÁMPARA 4	20	2	40
<b>DEMANDA TOTAL DE ENERGÍA</b>			<b>220</b>

- **Potencia del inversor**

$$P_{inv} = (1.2) * P. demandada$$

$$P_{inv} = (1.2) * (200 W)$$

$$**P_{inv} = 240 W**$$

- **Cálculo de la energía de campo solar.**

Energía demandada: **220 Wh**

$$\eta_b = \text{eficiencia de la batería}$$

$$\eta_{bc} = \text{eficiencia de la batería en la carga}$$

$\eta_{bc}$  = eficiencia de la batería en la descarga

$$\eta_b = n_{bd} * \eta_{bc}$$

$$\eta_b = 0.8 * 0.8$$

$$\eta_b = 0.64$$

- Rendimiento del inversor

$$\eta_{inv} = 90\% = 0.9$$

Esta eficiencia se obtiene a partir de los datos de placa del inversor escogido

- Energía de Campo Solar

$E_{cs}$  = Energía del campo solar

$$E_{cs} = \frac{E_{demandada}}{\eta_b * \eta_{inv}}$$

$$E_{cs} = \frac{220 \text{ Wh}}{(0.64)(0.9)}$$

$$E_{cs} = 381,94 \frac{\text{Wh}}{\text{día}}$$

- Energía del Panel

$E_{panel}$  = Voltaje nominal de la batería \*  $I_{mp}$  \* horas de sol pico

$$E_{panel} = (12) * (8.24) * (2)$$

$$E_{panel} = 197,76 \frac{\text{Wh}}{\text{panel}}$$

$N_{TP}$  = Número total de paneles

$N_{PP}$  = Número de paneles en serie

$N_{PP}$  = Número de paneles en paralelo

$$N_{TP} = \frac{Ecs}{E. panel}$$

$$N_{TP} = \frac{381,94}{197,76}$$

$$N_{TP} = 1,93 \cong 2 \text{ paneles}$$

- **Paneles en serie.**

$$N_{ps} = \frac{Vnb}{Vmp - 3}$$

$$N_{ps} = \frac{12}{18,2 - 3}$$

$$N. panel = 0.78 \cong 1 \text{ panel en serie}$$

- **Paneles en paralelo.**

$$N_{PP} = \frac{N_{TP}}{N_{PS}}$$

$$N_{PP} = \frac{2}{1}$$

$$N_{PP} = 2 \text{ paneles en paralelo}$$

#### 4.3.2. Controlador de carga

El controlador de carga que se escogió para el módulo didáctico, fue a partir de los resultados que se obtuvieron en los cálculos del número de paneles solares siendo este dos en paralelo, ya con el panel escogido se sabe la corriente máxima y potencia con la que va a trabajar el sistema fotovoltaico en la tabla 19 se puede observar la marca y las características del controlador de carga escogido.

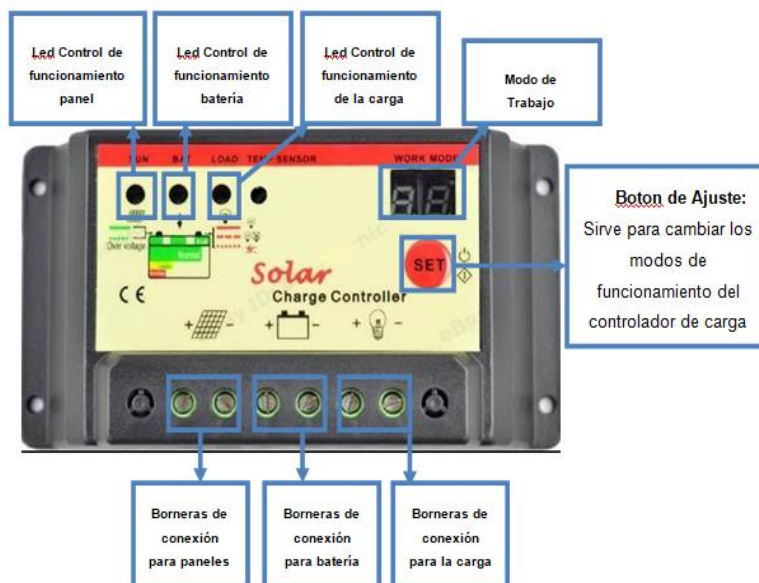


**Tabla 18**  
Características controlador de carga

Solar Charge Controller	
Material	ABS
Corriente de carga Nominal	30 A
Corriente de carga	30 A
Voltaje del sistema	12 V/24 V
Funcionamiento	Automático
Modo de carga	PWM
Potencia	12 V-390W/ 24 V-780W
Dimensiones	13,3 cm. x 7,0 cm. x 3,2 cm.
Peso	108 gr.

Fuente: (Energy, 2012)

Como se puede observar en la tabla previamente mostrada el controlador de carga cumple con las características de corriente, voltaje del panel y batería que van conectados al mismo, además de que el precio es económico logrando reducir costos en el módulo, en la figura 31 se puede apreciar el controlador de carga usado.



**Figura 31.** Controlador de carga

Fuente: (Energy, 2012)

### 4.3.3. Batería

La batería que se selecciono es de 12 V debido a que el sistema fotovoltaico y los paneles trabajan en este voltaje, es una batería de descarga profunda por lo que es perfecta para el trabajo que va a realizar, además que tiene 50Ah de carga eléctrica, debido a que es un módulo didáctico y se necesita que la transferencia entre el sistema fotovoltaico y el sistema térmico se realice, se necesita que la descarga sea rápida y poder observar el funcionamiento del módulo completo, este tiempo varía dependiendo de la irradiación que se receptando los paneles solares en ese momento. En la tabla 19 se puede observar algunas de las características de la batería seleccionada y en la figura 32 una imagen de la misma



**Figura 32.** Batería

**Tabla 19**  
Características de batería

	Regulación de voltaje	de	Corriente Inicial
Uso Normal	13.50 V - 13.80 V		0.1 C
Uso Cíclico	14.10 V – 14.40V		0,25 C max.

#### 4.3.4. Generador Eléctrico

El generador eléctrico es una pieza clave dentro del presente proyecto de investigación por lo que la elección del mismo tomo su tiempo teniendo en cuenta varios factores como precio, potencia, modo de arranque, protecciones, consumo de combustible.

Teniendo en cuenta que los generadores con arranque automático son excesivamente costosos se tuvo que buscar generadores con arranque eléctrico para después adaptar este mismo arranque a uno que sea automático y llegue a cumplir las condiciones que se necesitan en el proyecto de investigación. Debido a que este tipo de generadores con estos arranques tienen una potencia alta se tuvo que elegir uno de 2500W siendo el de menor potencia que se encontró en el mercado, en la tabla 20 se puede observar los detalles del generador adquirido y en la figura 33 una imagen del generador adquirido.



**Figura 33.** Generador

**Tabla 20**

*Características del generador eléctrico*

Generador HISA LT3990E	
<b>Potencia</b>	2500 W
<b>Potencia Máxima</b>	2800 W
<b>Tipo de arranque</b>	Manual/eléctrico

CONTINÚA 

<b>Salida de Voltaje</b>	110 Vac/ 220Vac /12Vdc
<b>Combustible</b>	Gasolina
<b>Capacidad del tanque de combustible</b>	15L
<b>Numero de fases</b>	1 fase
<b>Horas de funcionamiento con tanque lleno</b>	13 horas a 50% carga
<b>Capacidad de aceite lubricante</b>	0.6 Litros
<b>Peso</b>	55 kg.

Fuente: (HISA, 2012)

### Arranque automático

Para realizar el arranque y apagado automático se adaptó un pequeño mecanismo en el choque del generador que consta de un resorte, un eje, un acople que se adapta en el choque antes mencionado y un drain motor de lavadora que permite el movimiento del mecanismo, permitiendo el encendido automático en la figura 34 se puede ver los elementos que se explicaron y en la figura 35 todo el mecanismo aplicado en el generador.



**Figura 34.** Elementos del mecanismo para arranque automático



**Figura 35.** Mecanismo aplicado más drain motor

- **Drain Motor:** el motor que se colocó para hacer funcionar el arranque automático generalmente es utilizado en lavadoras, pero debido a la funcionalidad que tiene en su brazo retráctil nos permite mover el choque al estado donde comienza el ciclo de arranque para después volverse a su estado inicial gracias al resorte instalado en el mecanismo, el drain motor tiene una alimentación de 110 v, esta alimentación va conectada a una salida del PLC LOGO, para poder ser controlada al momento de la transferencia. En la figura 36 se puede apreciar la forma del drain motor y en la figura 37 la alimentación del mismo.

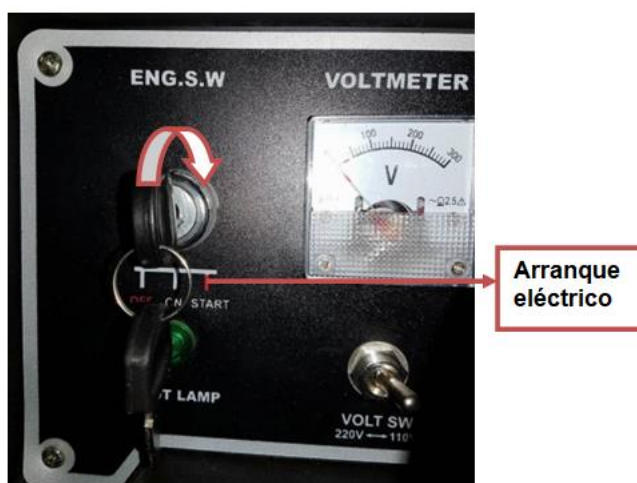


**Figura 36.** Drain Motor



**Figura 37.** Alimentación drain motor

Una vez instalado el mecanismo en el generador, con el drain motor ya en funcionamiento se necesita sacar la señal que se da cuando se gira la llave a la derecha para comenzar con el encendido eléctrico, esta señal obtenida se tiene mediante cable #20, que está conectada a un relé 110 AC, que se activara según la programación del PLC LOGO. En la figura 38 se puede apreciar de donde se obtiene la señal de encendido.



**Figura 38.** Encendido eléctrico del generador

- **Relé 110 Vac.:** estos dispositivos sirven para comandar pequeñas potencias o potencias de control, por tanto, están en los circuitos de control o en circuitos cuyas cargas (motores, equipos consumidores en general) son de pequeñas

potencias. Suelen representarse por la letra R, para el arranque automático, el relé actúa como interruptor de la alimentación del drain motor para poder activarlo y desactivarlo cuando se necesita en la transferencia. En la figura 39 se puede apreciar al relé usado. (Rodríguez, 2013)



**Figura 39.** Relé 110Vac

- **PLC LOGO:** Es un módulo lógico, es decir, un controlador programable que permite que, sin intervención humana, las máquinas hagan un trabajo. Básicamente funciona de la siguiente manera: el PLC LOGO va a recibir datos de entrada una serie de señales, las cuales van a ser procesadas en el programa, y el LOGO va a dar unos datos de salida. Este dispositivo dentro del arranque automático permite activar o desactivar el relé que está conectado a la alimentación del drain motor, un segundo uso es apagado automático y paso de voltaje del generador a la fuente de DC, que se explicará más adelante, en la figura 40 se pueden observar el LOGO 230RC que fue utilizado. (LOGO, 2014)





**Figura 40.** LOGO 230RC

Fuente: (LOGO, 2014)

### Apagado automático

Para realizar el apagado automático del generador, como en el encendido se halló las señales de contacto, en el panel donde se encuentra la llave que permite el apagado eléctrico del generador que esta vez es hacia la izquierda, en la figura 41 se puede observar el sentido de la llave.



**Figura 41.** Apagado eléctrico

- **Relé 110 Vac.:** como se explicó en el arranque automático el relé recibe señales, pero esta vez del apagado, actuando como un interruptor de las mismas para después poder activar o desactivar el relé con el PLC LOGO que



se usó y se explicó previamente. En la figura 42 se puede apreciar el relé que se usó para el apagado automático.



**Figura 42.** Relé 110 Vac.

#### 4.3.5. Fuente de Voltaje DC

Necesitando una micro red de voltaje DC, para que se facilite la transferencia entre el generador y el sistema fotovoltaico, se consideró usar la salida de voltaje de 12V-8.3A que proporciona el generador, pero teniendo 4 cargas que se van a usar la corriente sobrepasa la capacidad del generador en DC haciendo que el fusible que tiene como protección se abriera y dejando de generar lo que se necesita. En la figura 43 se observa la salida de voltaje de DC en el panel del generador.



**Figura 43.** Salida de voltaje DC en el generador

Ya que el generador tiene una potencia de generación en AC de 2500W se optó por usar una fuente de voltaje de DC que se alimentaría desde el generador haciendo uso del mismo, cumpliendo con los requisitos del proyecto de investigación que es el uso de generación térmica.

La fuente de voltaje adquirida tiene 12 V en DC, además posee una potencia máxima de 360 W que se complementa fácilmente con la del generador y por último la corriente que puede soportar es de 30 A, que está dentro de la corriente que se va a usar con todas las cargas conectadas. En la tabla 28 se encuentran más características que nos brinda el fabricante y en la figura 44 se aprecia una imagen de la fuente utilizada.

**Tabla 21**  
Características Fuente DC

Fuente de Voltaje 12 V 30 <sup>a</sup>		
<b>Modelo No.</b>	YDS360	
<b>Entrada</b>	Voltaje	110 Vac-220Vac
	Frecuencia	50-60Hz
<b>Salida</b>	Voltaje	12 Vdc
	Corriente	30 A
	Potencia	360W
	Eficiencia	73%
	Gamma Ajustable de Voltaje	12V- 12.5V
<b>Protección</b>	Sobrecarga	105-115%
	Cortocircuito	Recuperación auto

Fuente: (Technology, 2012)



**Figura 44.** Fuente de Voltaje DC

Fuente: (Technology, 2012)

- **Contactador:** Estos dispositivos son relés que disponen de contactos de potencia, es decir contactos que tienen la capacidad de abrir y cerrar contactos por los que circula mayor intensidad. Suelen representarse por la letra K.

El uso del contactor se debe a que en el momento de encendido del generador este comienza el arranque con una frecuencia baja hasta normalizarse en los 60 Hz, provocando fallas en la fuente, que en uso continuo de prendido y apagado como se requiere en el módulo, llega a producir un daño permanente. Debido a que la alimentación de la fuente tiene una fase y neutro se optó por abrir el circuito con el contactor que se activa o desactiva con programación del PLC LOGO, únicamente cuando el generador este encendido y funcionando en su totalidad evitando las bajas frecuencias esto en un tiempo de 8 segundos. En la figura 45 se aprecia el contactor que se utilizó como método de protección para la fuente.



**Figura 45.** Contactor

#### 4.3.6. Inversor

Como parte de los resultados obtenidos al momento de sacar el número de paneles, también se obtuvo la potencia que debe tener el inversor para poder satisfacer la carga que se va a instalar en el módulo, teniendo en cuenta que en los cálculos el resultado fue 240 W, se buscó un inversor que se acercara a este valor y tenga más rango de trabajo, debido a esto la potencia que se busco fue de 300 W encontrando un dispositivo que además de tener este valor de potencia también tiene

como salida una forma de onda totalmente sinusoidal, que nos ayuda a alargar la vida útil de las cargas, en la tabla 30 se muestran las distintas características del fabricante, mientras que en la figura 46 se tiene el inversor escogido.

**Tabla 22**  
*Características Inversor*

<b>Power Inverter JNGE 300 Watt Pure Sine Wave Inverter</b>	
<b>Modelo</b>	JN-H-300 W
<b>Tensión Nominal</b>	12V/24V
<b>Potencia Nominal</b>	300 W.
<b>Potencia Pico</b>	600W(<1s)
<b>Salida de voltaje</b>	110Vac±5%/120Vac±5% o 220Vac±5%/240Vac±5%
<b>Frecuencia de salida</b>	50Hz±0.5% o 60Hz±0.5%
<b>Forma de onda de Salida</b>	Onda sinusoidal pura
<b>Eficiencia del Inversor</b>	94%
<b>Voltaje de encendido</b>	11V-14.5V/22V-29.5V
<b>Voltaje de trabajo</b>	10.5V-15V/21V-31V

Fuente: (Jinge Power Co., 2015)



**Figura 46.** Inversor 300W

Fuente: (Jinge Power Co., 2015)

En la figura 47 se tiene la vista frontal y trasera del inversor detallando las partes que conforman el mismo.



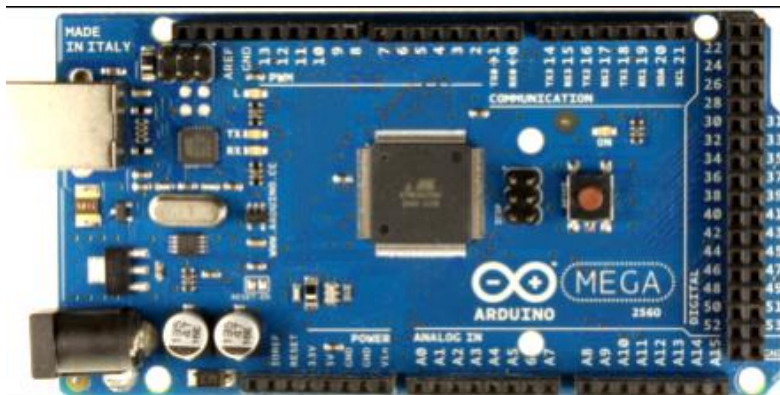
**Figura 47.** Partes del Inversor

#### 4.4. Diseño de la Transferencia del Módulo Didáctico

Esta parte del proyecto se programó en Arduino Mega coordinado con PLC LOGO, además se utilizó módulos relé de la marca Arduino, relés de 12 Vdc y sensores de voltaje marca Arduino.

##### 4.4.1. Arduino Mega

Arduino es una plataforma que utiliza un código abierto basada en hardware libre y software flexibles y fáciles de usar. Arduino se enfoca en facilitar la programación y el uso de elementos electrónicos. Los circuitos se pueden armar de forma manual o adquirirlas de forma completas, ya que Arduino tiene una variedad de sensores que ya consta con su circuito de acondicionamiento listo para ser utilizado. (Arduino, 2016)



**Figura 48.** Arduino Mega

Fuente: (Arduino, 2016)

En el presente proyecto de investigación el Arduino Mega permite controlar los relés que funcionan directamente con la transferencia eléctrica del módulo, lee los datos que mide los sensores de voltaje que se encuentran en el sistema fotovoltaico y en el sistema térmico, permite la comunicación con la pantalla Nextion.

#### 4.4.2. Sensores de Voltaje

Este módulo es capaz de medir voltaje basándose en el principio de diseño de divisor de tensión resistivo. El voltaje de medición no es mayor a 5 veces el voltaje de entrada, para  $5V = 25 V$ . En la figura 49 se observa la conexión del sensor de voltaje. (Llamas, 2016)



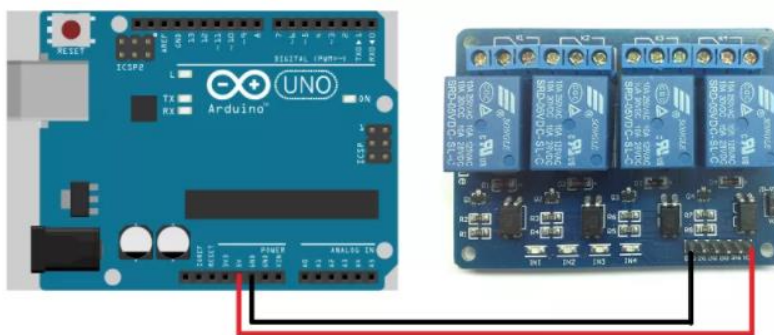
**Figura 49.** Sensor de Voltaje Arduino

Fuente: (Llamas, 2016)

#### 4.4.3. Módulo de relés Arduino

Es un módulo de relevadores (relés) para conmutación de cargas de potencia. Los contactos de los relevadores están diseñados para conmutar cargas de hasta 10A y 250VAC (30VDC), aunque se recomienda usar niveles de tensión por debajo de

estos límites. Las entradas de control se encuentran aisladas con opto acopladores para minimizar el ruido percibido por el circuito de control mientras se realiza la conmutación de la carga. La señal de control puede provenir de cualquier circuito de control TTL o CMOS como puede ser un micro controlador. Este módulo es ideal para conmutar cargas de corriente alterna conectadas a la red eléctrica. Soporta todo tipo de micro controladores, aplicaciones en zonas industriales, control del PLC, entre otros. Este módulo es capaz de controlar varios equipamientos de alta corriente durante un tiempo prolongado. En la figura 50 se puede apreciar la conexión del módulo de relés al Arduino. (Arduino, 2016)



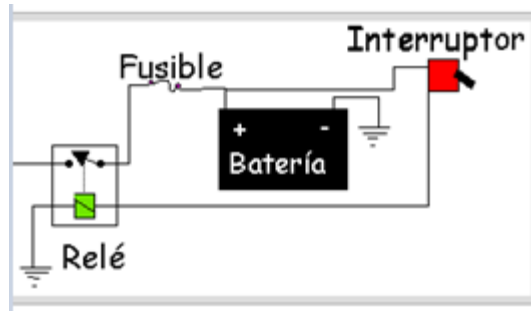
**Figura 50.** Módulo relés Arduino

Fuente: (Tolocka, 2015)

Estos relés permiten mediante la programación de Arduino la transferencia eléctrica, entre el sistema fotovoltaico y el generador, cortando o dejando el paso de voltaje que alimenta a otros relevadores, los cuales se explicaran más adelante.

#### 4.4.4. Relevadores 12 Vdc

Este tipo de relevadores en su mayoría forman parte del sistema eléctrico del automóvil, las luces altas, el claxon, el electro ventilador, son accesorios del automóvil que trabajan con alto consumo de corriente eléctrica siendo el ideal para el proyecto de investigación, en la figura 46 se aprecia el modo de conexión, mientras que en la figura 51 el relevador usado. (Klapper, 2009)



**Figura 51.** Conexión de relevador

Fuente: (Klapper, 2009)

En el proyecto de investigación los relevadores permiten el paso de voltaje en la entrada del inversor y la salida de la fuente de voltaje, que es el proceso principal dentro de la transferencia eléctrica.



**Figura 52.** Relevador

Fuente: (Romero, 2012)

#### 4.4.5. Pantalla HMI (Nextion)

La pantalla Nextion es una de las nuevas actualizaciones ya que reemplaza el LCD tradicional y el tubo LED, tiene un único puerto serie para hacer la comunicación entre hombre-máquina. Tiene una programación fácil de realizar ya que viene con componentes de botón, texto, barra de progreso, control deslizante, panel de instrumentos y gráficos, todo esto sirve para que el diseño de su interfaz sea más fácil de realizar y reducir su tiempo de trabajo. (Community, 2015)





**Figura 53.** Pantalla Nextion

Fuente: (Community, 2015)

#### 4.4.6. Medidor Eastron SDM 230 MODBUS

Los medidores de energía "con una pantalla LCD retro iluminada azul para lectura perfecta" se utilizan para medir la aplicación residencial, industrial y de servicios públicos monofásicos. La unidad mide y muestra varios parámetros eléctricos importantes y proporciona un puerto de comunicación para lectura y monitoreo remoto. La medición de energía bidireccional hace que la unidad sea una buena opción para la medición de energía solar fotovoltaica. En la figura 54 se puede apreciar el medidor usado en el módulo de microgeneración (Eastron, 2015)



**Figura 54.** Medidor Eastron

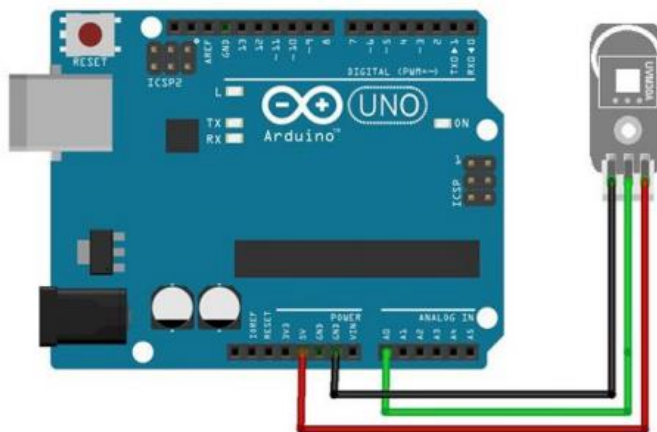
Fuente: (Eastron, 2015)

#### 4.4.7. Medidor de Rayos UV Arduino

Este sensor UV, se utiliza para detectar el índice de intensidad ultravioleta (UV). Esta forma de radiación electromagnética tiene longitudes de onda más cortas que la radiación visible y son esas longitudes cortas las que detecta este sensor.

Este módulo se basa en el sensor UVM-30A, que tiene una amplia gama espectral de 200nm hasta 370nm\*. La señal eléctrica de salida del módulo, es de tipo analógica, que varía respecto a la intensidad de los rayos UV. (Rambal, 2016)

El sensor de rayos UV es usado para poder tener las mediciones de irradiación en tiempo real, con ayuda de un piranómetro se logró acondicionar el sensor y tener los valores requeridos y poder tener la gráfica de los mismos. En la figura 55 se muestra el modo de conexión del sensor.



**Figura 55.** Sensor rayos UV con conexión Arduino

Fuente: (Rambal, 2016).

#### 4.5. Diseño final del módulo didáctico

Con el diseño de la estructura del módulo didáctico previamente revisado mediante software y con los componentes ya seleccionados se procedió a construir el módulo teniendo como resultado final en la figura 56.



**Figura 56.** Presentación final módulo didáctico

El módulo consta de dos circuitos eléctricos, uno de control que permite realizar y monitorear la transferencia eléctrica cuando sea necesario y uno de potencia que comienza la secuencia de arranque automático del generador eléctrico, así como también la alimentación del módulo didáctico, estos circuitos se encuentran disponibles en el Anexo E.

#### **4.6. Diseño del HMI.**

Todas las pantallas que se muestran en el HMI fueron diseñadas y programadas en el programa Nextion Editor, permitiendo visualizar el funcionamiento del módulo en tiempo real, el HMI constan de 5 pantallas que son: caratula, estructura general del módulo, gráfica Voltaje-Tiempo, gráfica Irradiancia-Tiempo, cargas instaladas. En las figuras 57, 58, 59, 60, 61 se puede apreciar las pantallas antes mencionadas.



# ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

## EXTENSIÓN LATACUNGA

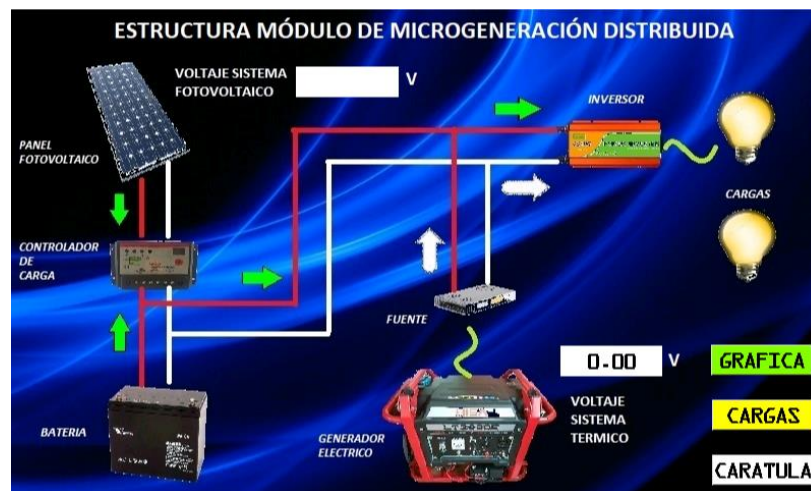


**TEMA: DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN MÓDULO DIDÁCTICO DE MICROGENERACIÓN DISTRIBUIDA PARA ANÁLISIS DE FIABILIDAD Y SUSTENTABILIDAD EN EL SUMINISTRO DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN EL LABORATORIO DE ACCIONAMIENTOS ELÉCTRICOS.**

**AUTORES:**  
 ANGEL RICARDO DAMACELA TOAZA  
 BRYAN ENRIQUE GUAMANGATE LAGLA

**DIRECTOR:**  
 ING. ALVARO MULLO

**Figura 57.** Carátula HMI



**Figura 58.** Estructura general módulo

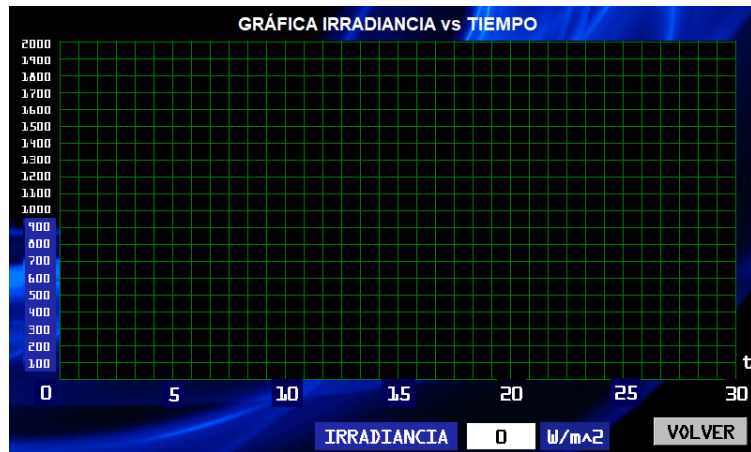


Figura 59. Irradiancia-Tiempo HMI

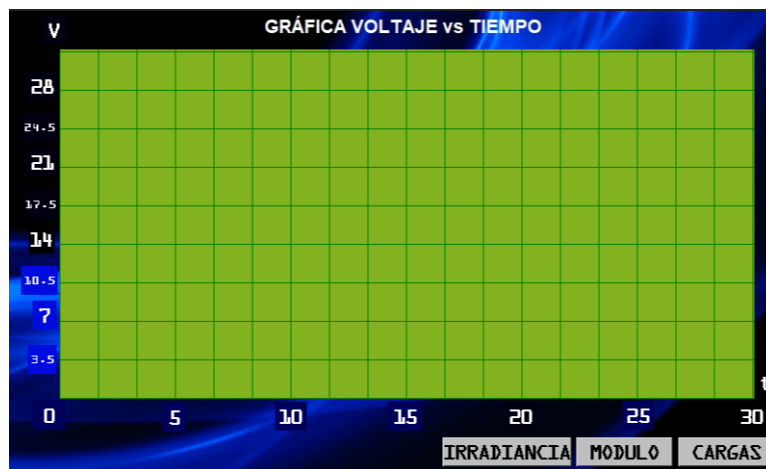


Figura 60. Voltaje-Tiempo HMI



Figura 61. Carga Instalada HMI

## CAPÍTULO V

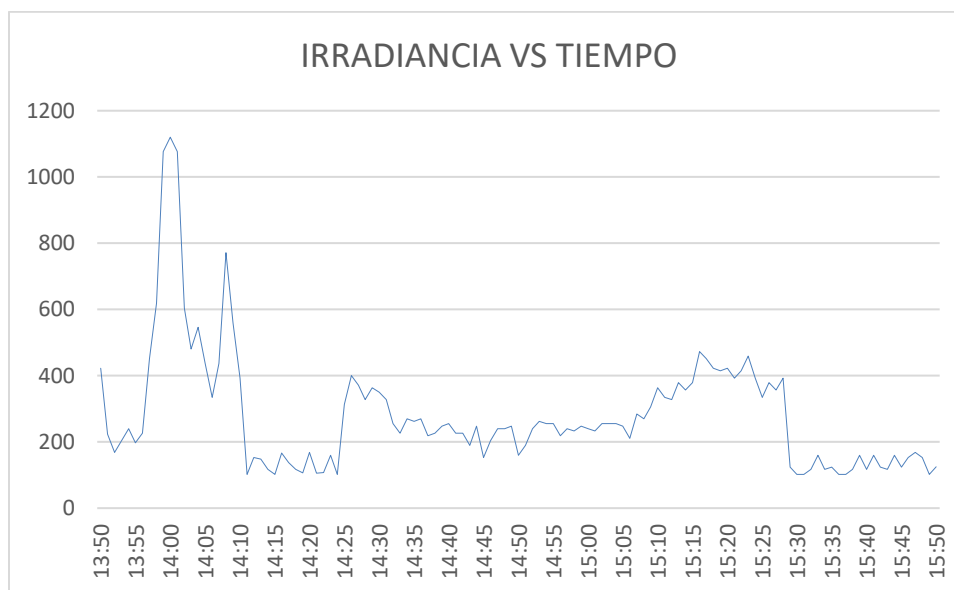
### 5. PRUEBAS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

#### 5.1. Análisis de fiabilidad del módulo didáctico

##### 5.1.1. Prueba del módulo didáctico a $\frac{1}{4}$ de carga de su capacidad total.

Para la primera prueba se usó una carga de 40 w. y la duración de la misma fue de 2 horas con una irradiación entre  $100 \text{ w/m}^2$  y  $1273 \text{ w/m}^2$ , los datos adquiridos son: voltaje de la batería y la irradiación que se tuvo ese momento.

En la figura 62 se tiene la irradiación durante el lapso de 2 horas en el que se realizó la prueba, se puede apreciar como la irradiación no fue la óptima, pero debido a que la carga no era tan elevada el sistema fotovoltaico trabajo con normalidad hasta determinado tiempo.



**Figura 62.** Irradiación prueba 1/4 carga

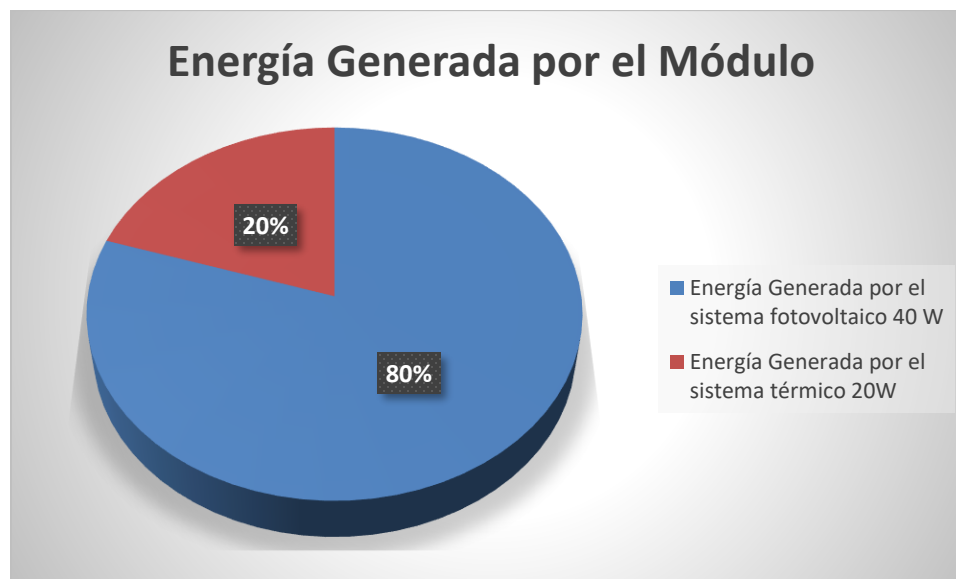
En la tabla 23 se tiene un resumen de los datos previamente obtenidos más la energía generada por el sistema fotovoltaico y el sistema térmico.

**Tabla 23***Datos del módulo didáctico 1/4 de carga*

Voltaje Batería (V)	Irradiancia (W/m <sup>2</sup> )	Energía (Wh.)	Potencia (W.)	Hora
14.54	422	0	40	13:50
14.37	248	10	40	14:09
14.42	902	20	40	14:29
14.59	924	30	40	14:50
14.20	200	40	40	15:11
12.83	134	40	40	15:24
12.46	133	40	40	15:28
12.37	130	50	40	15:32
11.71	100	50	40	15:38
12.60	97	50	40	15:49
12.98	99	60	40	15:50

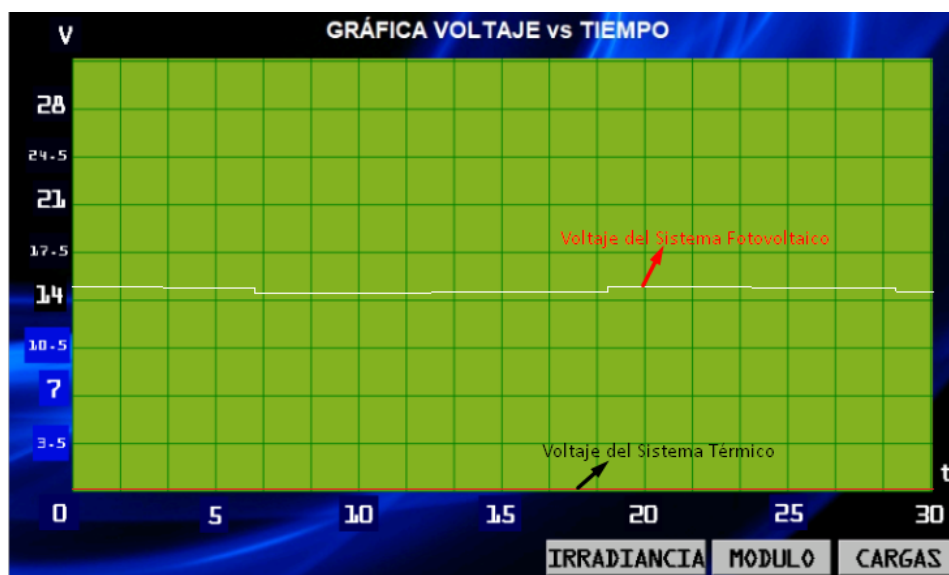
Los valores resaltados con color amarillo son los que se obtuvieron en el momento exacto que se realizó la transferencia entre los dos sistemas de generación, mientras que los valores resaltados en color verde se obtuvieron del sistema fotovoltaico, pero en ese momento el sistema térmico está funcionando, es decir están en carga las baterías con los paneles solares. Con los datos obtenidos se tiene que la transferencia se efectuó una sola vez durante el lapso que duro la prueba, se tiene el tiempo que duro el sistema fotovoltaico en funcionamiento hasta que inició la transferencia que es de 1 hora con 38 minutos, el sistema fotovoltaico no logro recuperarse debido a la baja irradiación, el sistema térmico siguió trabajando hasta acabar toda la prueba, cumpliendo las dos horas.

En la figura 63 se observa en porcentajes la cantidad de energía generada por el módulo durante el periodo que duro la prueba, en un mayor porcentaje la energía generada fue proveída por el sistema fotovoltaico gracias a las condiciones que se tuvieron.



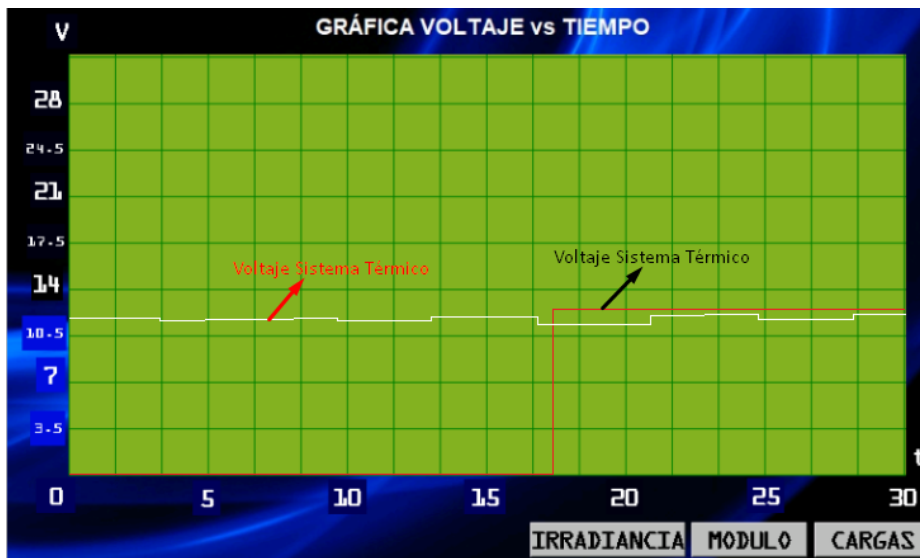
**Figura 63.** Porcentaje de energía generada a 1/4 carga

En la figura 64 y 65 se puede observar el comportamiento del voltaje al comienzo de la prueba y al momento de la transferencia respectivamente en tiempo real visualizado por la pantalla Nextion.



**Figura 64.** Voltaje inicio de la prueba





**Figura 65.** Voltaje transferencia iniciada

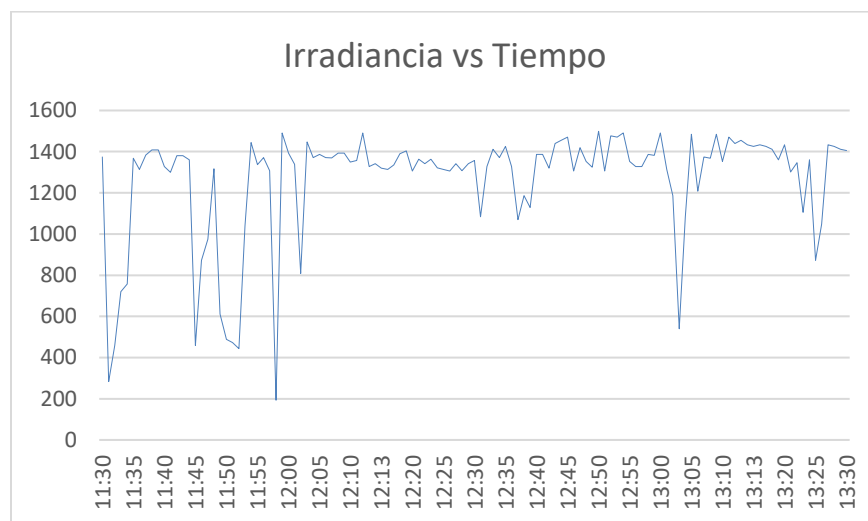
En la primera figura previamente mostrada se observa el voltaje en su pico más alto que tuvo durante las dos horas de prueba, debido a que la batería del sistema fotovoltaico se encontraba cargada y la irradiación estaba en un valor aproximado de  $(100-900)w/m^2$ , para la figura 51 se tiene ya el punto más bajo de voltaje en el sistema fotovoltaico de 11.71 V., ya por debajo del voltaje programado de 11.8 V., que es donde se realiza la transferencia eléctrica, todo esto debido a la poca irradiación que se tenía y la descarga de la propia batería por el tiempo que llevaba en uso, al realizarse la transferencia se puede observar que el voltaje del generador se eleva comprobando así que la transferencia se ha realizado correctamente.

Con todos los datos de voltaje, irradiación, tiempo y número de transferencias eléctricas, previamente revisado y analizado se puede decir que el módulo al trabajar con  $\frac{1}{4}$  de carga es fiable ya que en las dos horas de prueba existió solo una desconexión teniendo en cuenta que la irradiación no fue la mejor.

#### **5.1.2. Prueba del módulo didáctico a $\frac{1}{2}$ de carga de su capacidad total**

Para la segunda prueba se trabajó una carga de 100 W. y la duración de la misma fue de 2 horas con una irradiación entre  $193 W/m^2$  y  $1499 W/m^2$ , los datos adquiridos son: voltaje de la batería y la irradiación que se tuvo ese momento.

En la figura 66 se puede apreciar la gráfica de irradiación durante 2 horas en el que se realizó la prueba, durante este tiempo la irradiación fue la óptima, además a esto la batería comenzó cargada por lo que no hubo desconexiones en el sistema como se observara más adelante.



**Figura 66.** Irradiancia prueba 1/2 Carga

En la tabla 25 se tiene un resumen de los datos previamente obtenidos más la energía generada por el sistema fotovoltaico ya que no hubo desconexiones.

**Tabla 24**

*Datos del módulo didáctico 1/2 carga*

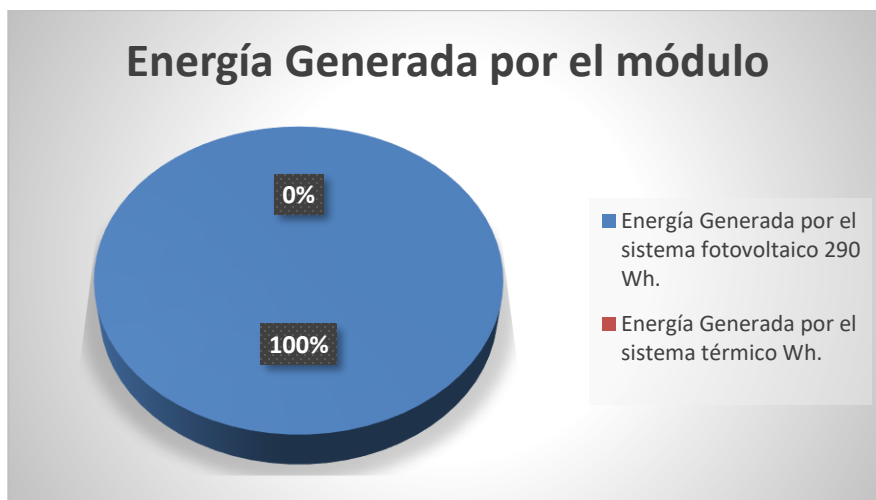
Voltaje Bateria (V)	Irradiancia (W/m <sup>2</sup> )	Energía (Wh.)	Potencia (W.)	Hora
14.66	1375	0	100	11:32
12.46	837	10	100	11:34
14.15	1322	20	100	11:38
14.59	1328	30	100	11:41
13.07	742	40	100	11:46
14.20	1364	50	100	11:50
13.07	1491	60	100	11:54
14	1371	70	100	11:58
14.66	1382	80	100	12:02
14.44	1440	90	100	12:07
13.12	1306	100	100	12:11
14.32	1055	110	100	12:15

CONTINÚA 

14.20	1244	120	100	12:19
14.30	1382	130	100	12:24
13.54	1499	140	100	12:29
14.39	1259	150	100	12:32
14.17	1462	160	100	12:36
13.81	1375	170	100	12:40
14.25	1295	180	100	12:45
14.35	1411	190	100	12:49
13.76	975	200	100	12:53
14.53	1386	210	100	12:58
14.01	1186	220	100	13:02
14.09	1375	230	100	13:07
14.43	1470	240	100	13:11
14.56	1426	250	100	13:15
14.29	1360	260	100	13:19
14.38	1360	270	100	13:24
14.31	1411	280	100	13:29
14.19	1406	290	100	13:30

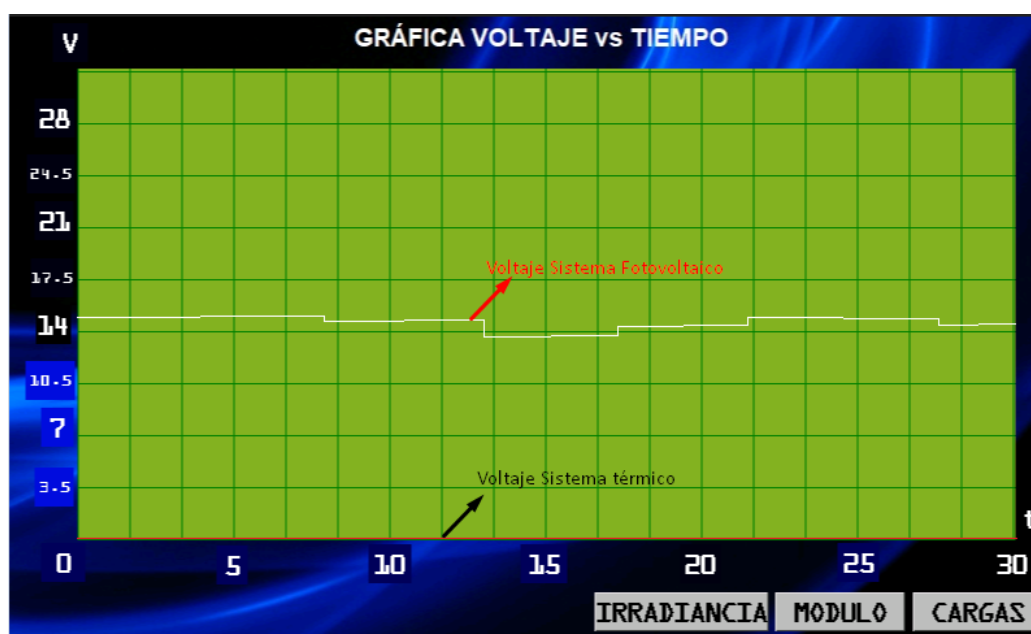
Como se puede observar en la tabla los voltajes del sistema fotovoltaico estuvieron entre 13 V. y 14 V. que son valores óptimos para que la microgeneración siga su paso sin tener desconexiones, el valor de voltaje mínimo durante la prueba es de 12.46 V., pero con una irradiación de aproximadamente  $837 \text{ W/m}^2$ , este valor fue instantáneo ya que la irradiación se recuperó muy rápido permitiendo que suba el voltaje del sistema y seguir con la generación normalmente.

En la figura 67 se observa que el porcentaje de generación aportada por el módulo es completamente del sistema fotovoltaico, debido a la buena irradiación que se tenía al momento y la carga no era alta.



**Figura 67.** Porcentaje de energía generada 1/2 de carga

En la figura 68 se puede apreciar el comportamiento del voltaje de ambos sistemas.



**Figura 68.** Comportamiento del voltaje prueba 1/2 carga

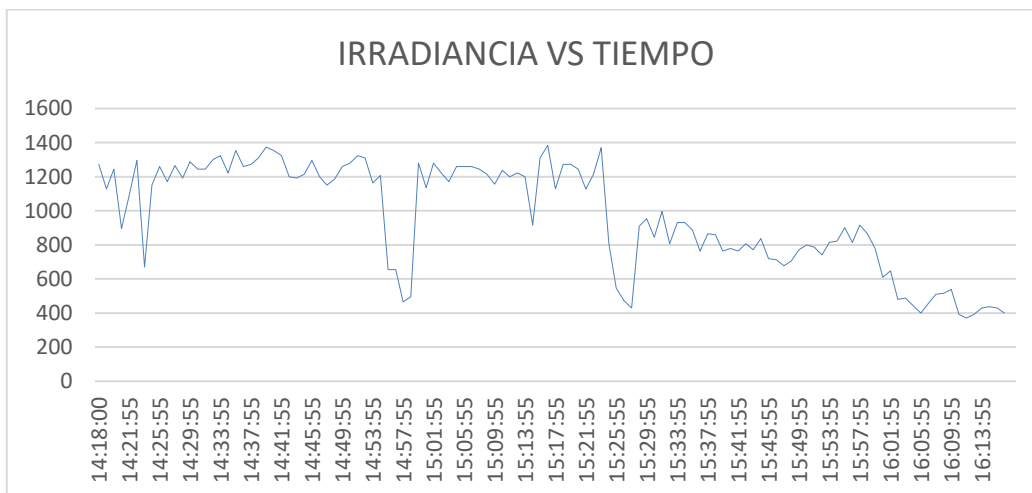
La figura anterior fue tomada en un fragmento de tiempo de toda la prueba realizada, cabe recalcar que durante todo el lapso que duro la misma la gráfica se mantuvo similar a la mostrada debido a que las condiciones fueron las mejores y no existió ninguna desconexión.

Con todos los datos de voltaje, irradiación, tiempo y número de transferencias eléctricas, previamente revisado y analizado se puede decir que el módulo al trabajar con 1/2 de carga es fiable ya que en las dos horas de prueba no existieron desconexiones teniendo en cuenta que la irradiación fue la óptima.

### 5.1.3. Prueba del módulo didáctico a $\frac{3}{4}$ de carga de su capacidad total

Para la tercera prueba se trabajó una carga de 140 W. y la duración de la misma fue de 2 horas con una irradiación entre 193 W/m<sup>2</sup> y 1499 W/m<sup>2</sup>, los datos adquiridos son: voltaje de la batería y la irradiación que se tuvo ese momento.

En la figura 69 se puede apreciar la gráfica de irradiación durante 2 horas en el que se realizó la prueba, durante este tiempo la irradiación fue la óptima, pero durante tramos cayo excesivamente lo que hizo que se realice la transferencia en 2 ocasiones, siendo en la segunda desconexión donde la irradiación fue la mínima hasta que acabo la prueba.



**Figura 69.** Irradiancia tercera prueba

En la tabla 26 se tiene un resumen de los datos previamente obtenidos más la energía generada por el sistema fotovoltaico y el sistema térmico en sus 2 transferencias.

Tabla 25

*Datos del módulo didáctico 3/4 de carga*

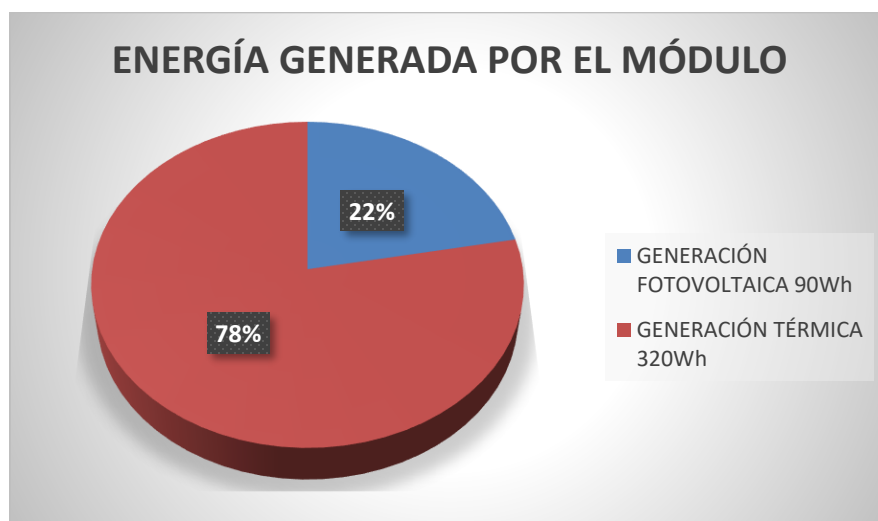
Voltaje Batería (V)	Irradiancia (W/m <sup>2</sup> )	Energía (Wh.)	Potencia (W.)	Hora
14.49	1288	10	140	14:18
12.61	1208	20	140	14:21
12.02	1146	30	140	14:24
12.12	1222	40	140	14:27
12.05	1193	50	140	14:30
12.44	1208	60	140	14:33
11.73	946	60	140	14:34
15.69	1269	60	140	14:36
12.17	1151	70	140	14:38
12.46	1179	80	140	14:41
11.69	1200	90	140	14:42
12.56	1099	100	140	14:45
11.93	1186	110	140	14:48
12.56	1280	120	140	14:51
12.51	1259	130	140	14:53
12.22	1324	140	140	14:56
12.29	1280	150	140	14:59
13.12	873	160	140	15:03
12.41	917	170	140	15:06
12.10	800	180	140	15:08
12.15	822	190	140	15:11
12.19	830	200	140	15:14
12.83	688	210	140	15:10
12.73	380	220	140	15:21
11.83	408	230	140	15:24
14.86	430	240	140	15:27
12.83	844	250	140	15:30
12.27	931	260	140	15:33
12.37	764	270	140	15:36
12.37	764	280	140	15:39
12.37	808	290	140	15:42
12.63	720	300	140	15:45
12.63	706	310	140	15:48
12.59	786	320	140	15:51
12.49	742	330	140	15:53
11.93	815	340	140	15:56
12.27	779	350	140	15:59
12.00	480	360	140	16:02
12.34	400	370	140	16:05
12.73	517	380	140	16:08

CONTINÚA 

12.34	371	390	140	16.11
12.71	437	400	140	16.14
12.07	400	410	140	16.17

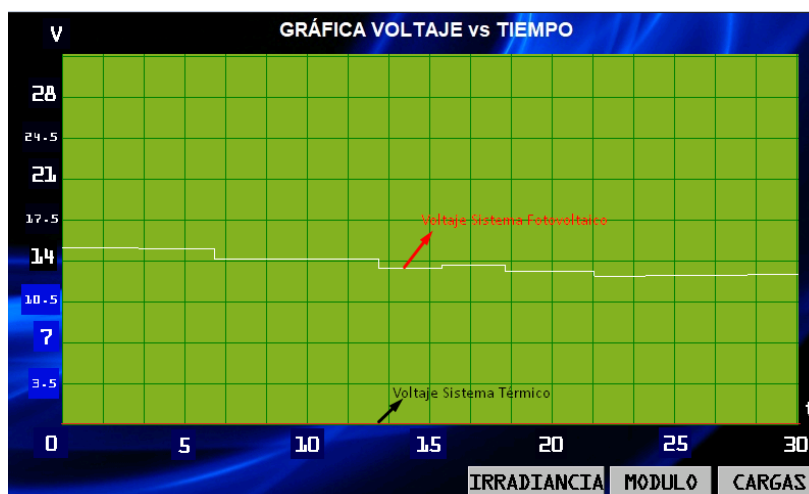
Los valores resaltados en color amarillo son los que se obtuvieron en el momento exacto que se realizó la transferencia entre los dos sistemas de generación, mientras que los valores resaltados en color verde se obtuvieron del sistema fotovoltaico, pero en ese momento el sistema térmico está funcionando, la fila que esta resaltada con color morado muestra los valores que se obtuvieron al momento que el sistema fotovoltaico se recuperó y volvió a generar. Con los datos obtenidos se tiene que la transferencia se efectuó dos ocasiones durante el lapso que duro la prueba, el tiempo que duro el sistema fotovoltaico en funcionamiento hasta que inició la primera transferencia es de 18 minutos, se logró recuperar debido a la irradiación, pero la generación no duro más de 8 minutos y por segunda vez se efectuó la transferencia aunque a diferencia de la primera el sistema térmico siguió funcionando hasta el término de la prueba debido a la baja irradiación que existía en el momento.

En la figura 70 se aprecia la energía generada por ambos sistemas de microgeneración, teniendo la mayor aportación del sistema térmico en 78% lo cual no es lo indicado ya que el sistema fotovoltaico debe ser el que más energía generada aporta para que así sea fiable y sustentable el módulo.

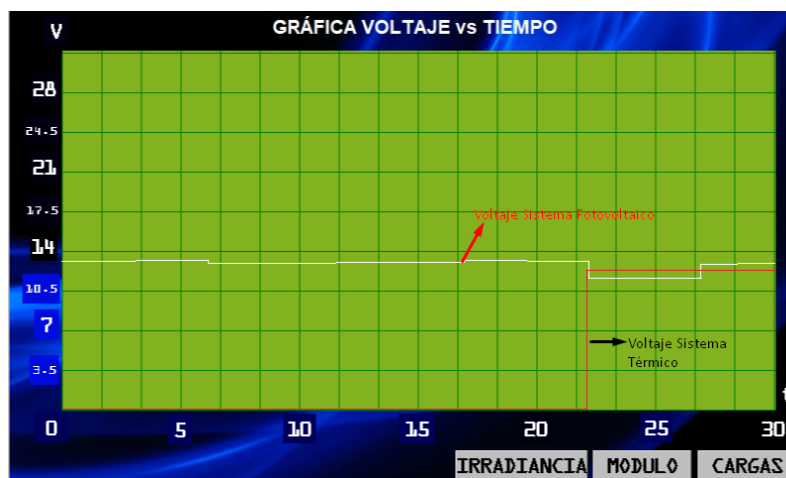


**Figura 70.** Porcentajes Energía generada 3/4 de carga

En la figura 71 se puede observar cómo se comportaron los voltajes del sistema durante un tramo de los primeros minutos de la prueba, en la figura 72 ya se puede observar el momento en el que se realiza la transferencia eléctrica con un voltaje en el sistema fotovoltaico de 11.73.



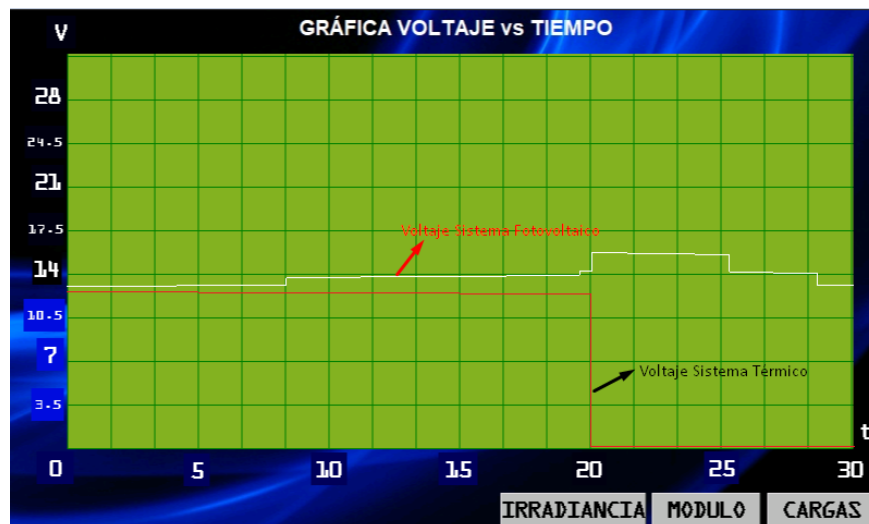
**Figura 71. Voltajes inicio tercera prueba**



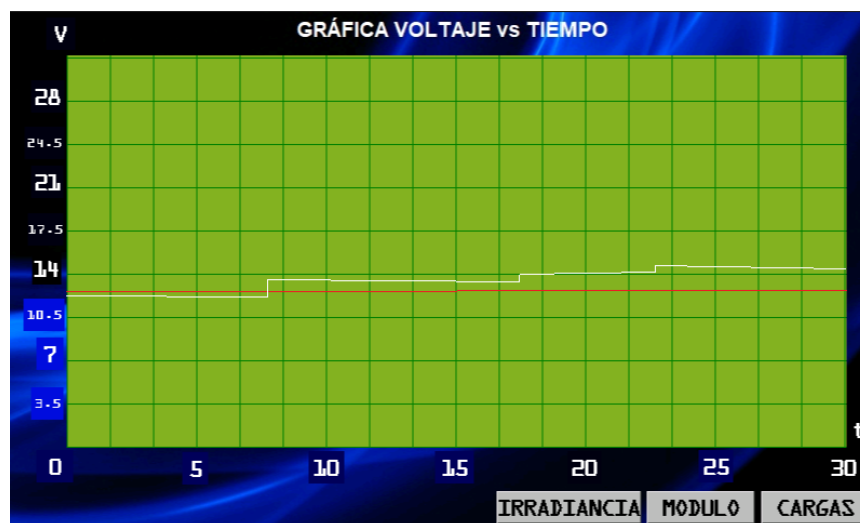
**Figura 72. Transferencia eléctrica tercera prueba**

La figura 73 muestra el momento en el que se recuperó el sistema fotovoltaico llegando a tener un voltaje de 15.68 V. superando así al voltaje programado para la recuperación de 15.3 V., mientras que en la figura 74 se tiene los voltajes del sistema térmico y fotovoltaico, siendo sus valores 13 V. y alrededor de 12 V. respectivamente.





**Figura 73.** Recuperación sistema fotovoltaico tercera prueba



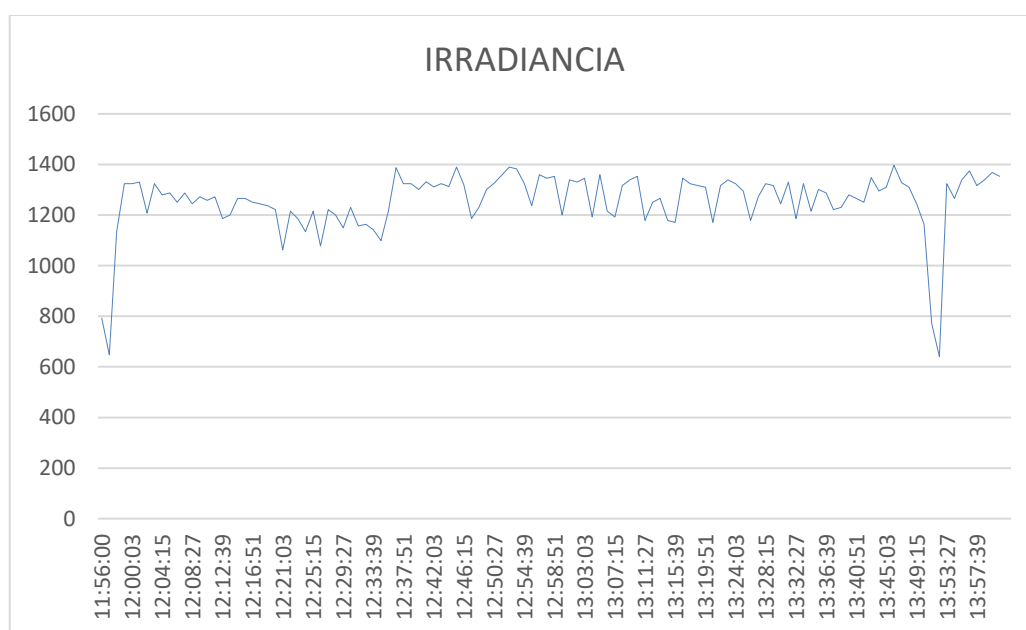
**Figura 74.** Voltajes en el término de la tercera prueba

Con todos los datos de voltaje, irradiación, tiempo y número de transferencias eléctricas, previamente revisado y analizado se puede decir que el módulo al trabajar con 3/4 de carga no es fiable, aunque el número de desconexiones fue solo de dos, el sistema fotovoltaico generó alrededor de 25 minutos máximo, y el sistema térmico el resto de la prueba debido a una irradiación inestable y una carga casi alta, este resultado pudo ser diferente si la irradiación se hubiese mantenido con los valores de los primeros minutos de la prueba.

#### 5.1.4. Prueba del módulo a toda carga

Para la cuarta prueba se trabajó una carga de 200 W., la duración de la misma fue de 2 horas con una irradiación entre  $640 \text{ W/m}^2$  y  $1397 \text{ W/m}^2$ , se pudo obtener datos de: voltaje de la batería y la irradiación que se tuvo ese momento.

En la figura 75 se puede apreciar la gráfica de irradiación durante 2 horas en el que se realizó la prueba, durante este tiempo la irradiación fue la óptima, a excepción por un decaimiento de la misma en pequeño tramo de la toma de datos, que es en donde se realizó la transferencia.



**Figura 75.** Irradiancia cuarta prueba

En la tabla 27 se tiene un resumen de los datos previamente obtenidos más la energía generada por el sistema fotovoltaico y el sistema térmico.

**Tabla 26**

*Datos del módulo a carga total*

Voltaje Batería (V)	Irradiancia ( $\text{W/m}^2$ )	Energía (Wh.)	Potencia (W.)	Hora
13.15	793	10	200	11:56
13.93	1135	20	200	11:58

CONTINÚA 

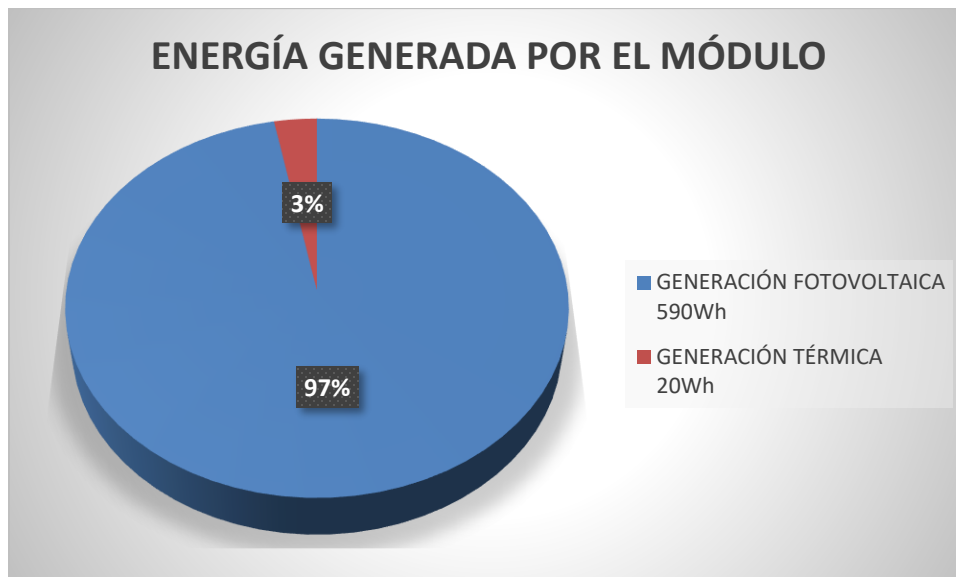
13.22	1324	30	200	12:00
12.41	1208	40	200	12:02
12.68	1280	50	200	12:04
12.66	1251	60	200	12:06
12.24	1244	70	200	12:08
12.93	1259	80	200	12:10
12.12	1186	90	200	12:12
12.98	1266	100	200	12:14
12.37	1251	110	200	12:16
12.34	1237	120	200	12:18
12.17	1062	130	200	12:20
12.71	1186	140	200	12:22
12.05	1215	150	200	12:24
12.83	1222	160	200	12:26
12.17	1150	170	200	12:28
12.44	1157	180	200	12:30
12.37	1142	190	200	12:32
12.76	1215	200	200	12:34
12.05	1324	210	200	12:36
12.88	1302	220	200	12:38
12.19	1311	230	200	12:40
12.34	1313	240	200	12:42
12.71	1319	250	200	12:44
14.69	1230	260	200	12:46
12.93	1326	270	200	12:48
12.46	1390	280	200	12:50
12.19	1324	290	200	12:52
12.78	1360	300	200	12:54
12.07	1353	310	200	12:56
12.19	1339	320	200	12:58
12.37	1346	330	200	13:00
12.73	1360	340	200	13:02
12.05	1193	360	200	13:04
12.66	1339	370	200	13:06
12.44	1179	380	200	13:08
12.12	1266	390	200	13:10
12.02	1171	400	200	13:12
12.78	1324	410	200	13:14
12.44	1310	420	200	13:16
12.22	1317	430	200	13:18
12.81	1324	440	200	13:20
12.22	1179	450	200	13:22
12.17	1324	460	200	13:24
12.85	1244	470	200	13:26
12.85	1186	480	200	13:30
12.32	1215	490	200	13:32

CONTINÚA 

12.17	1288	500	200	13:34
12.95	1230	510	200	13:36
12.19	1266	520	200	13:38
12.12	1348	530	200	13:40
12.83	1310	540	200	13:42
13.83	1328	550	200	13:44
13.49	1244	560	200	13:46
13.22	771	570	200	13:48
11.71	706	580	200	13:50
13.68	540	590	200	13:52
15.59	1304	600	200	13:54
13.20	1375	610	200	13:56

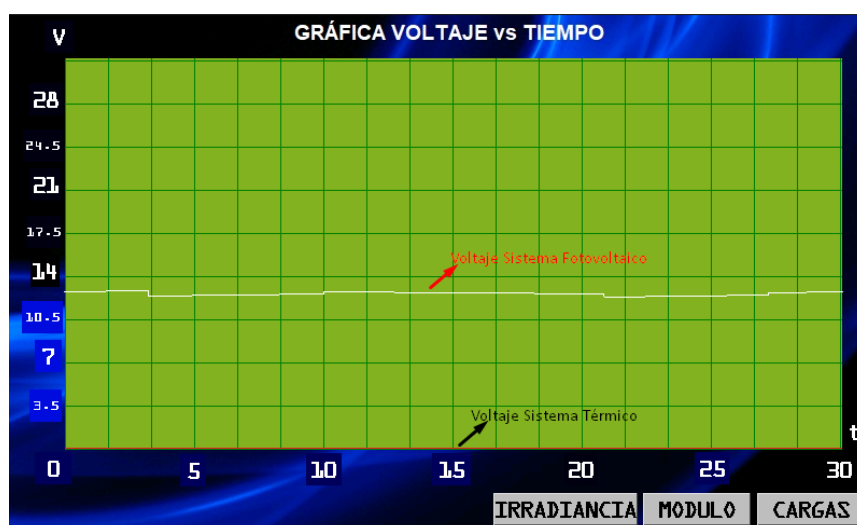
Los valores resaltados en color amarillo son los que se obtuvieron en el momento exacto que se realizó la transferencia entre los dos sistemas de generación, mientras que los valores resaltados en color verde se obtuvieron del sistema fotovoltaico, pero en ese momento el sistema térmico está funcionando, la fila que esta resaltada de color morado muestra los valores que se obtuvieron al momento que el sistema fotovoltaico se recuperó y volvió a generar. Con los datos obtenidos se tiene que la transferencia se efectuó una sola vez durante el lapso que duro la prueba, el tiempo que duro el sistema fotovoltaico en funcionamiento hasta que inició la única transferencia es de 1 hora con 54 minutos, debido a que la irradiación al momento de la prueba se incrementó casi inmediatamente el sistema fotovoltaico comenzó a generar 4 minutos después, y este se mantuvo hasta el final de la prueba.

En la figura 76 se observa como el mayor aporte de energía es por el sistema fotovoltaico en un 97%, y en un valor mínimo el sistema térmico en 3%, esto debido a la buena irradiancia que se tenía al momento de la prueba teniendo un sistema fiable y sustentable.

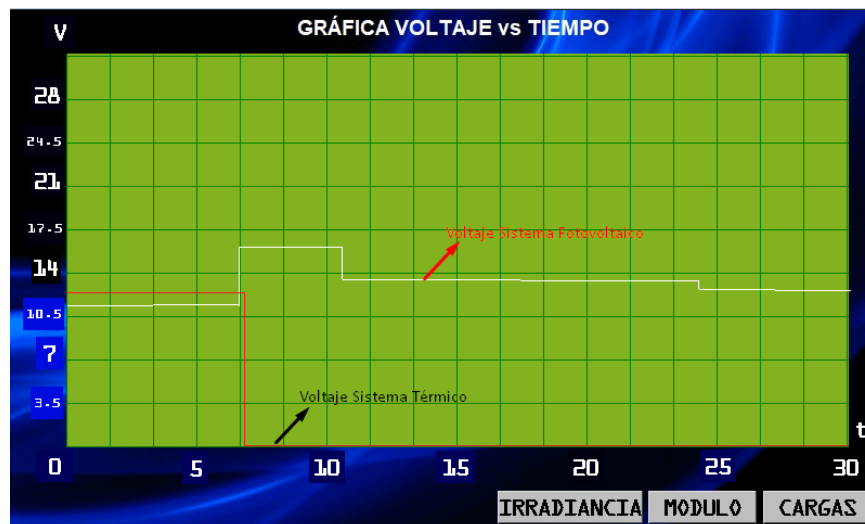


**Figura 76.** Porcentajes Energía generada carga máxima

En la figura 77 se puede observar el voltaje en el sistema fotovoltaico que se encuentra alrededor de 12 V-12.5V. esto debido a la carga que se encontraba alimentando aun así por la buena irradiancia que se tenía, no hubo desconexiones hasta casi acabar la prueba que es donde se efectuó una transferencia eléctrica como se puede observar en la figura 78, como el voltaje del sistema térmico estaba en funcionamiento por un corto periodo de tiempo hasta que se recuperó la generación fotovoltaica.



**Figura 77.** Voltajes inicio cuarta prueba



**Figura 78.** Voltajes y transferencia eléctrica cuarta prueba

Con todos los datos de voltaje, irradiación, tiempo y número de transferencias eléctricas, previamente revisado y analizado se puede decir que el módulo al trabajar con carga total es fiable, debido a la alta irradiancia que se tuvo al momento de realizar la prueba, a pesar de que existió una desconexión, el sistema fotovoltaico se recuperó a los 4 minutos que dejó de funcionar, continuando así el resto de la prueba.

## 5.2. Índices de fiabilidad del sistema.

Los siguientes son los datos de falla considerados para obtener los índices de fiabilidad.

Duración equivalente por carga.

$$DEC = \frac{\text{Tiempo que duro la desconexion}}{\text{Cantidad de cargas conectadas}}$$

$$DEC = \frac{1.82}{4}$$

$$DEC = 0.435$$

Frecuencia equivalente por carga.

$$FEC = \frac{\text{Numero de interrupciones}}{\text{Cantidad de cargas conectadas}}$$

$$FEC = \frac{4}{4}$$

$$FEC = 1$$

La duración equivalente por carga, indica que, en promedio cada carga del módulo didáctico experimenta una pérdida de 0.435 horas en un lapso total de 8 horas, con una frecuencia de desconexión de una vez cada 8 horas.

### 5.3. Análisis de la sustentabilidad del módulo didáctico.

La carga completa del módulo es de 200 W., cuando el módulo funciona a esta carga, como se observa en la prueba realizada anteriormente para hallar la fiabilidad del sistema, se obtuvo 500 Wh. generados.

Debido a que el módulo de microgeneración es didáctico, su uso no excede las 2 o 3 horas de funcionamiento en laboratorio, entonces se tuvo que proyectar su funcionamiento a 24 horas manteniendo la carga a 200 w., teniendo como resultado una energía generada de 6 KWh/día, sabiendo que el costo de KWh fotovoltaico en el Ecuador es de 0,1342 USD/KWh. (Muñoz Vizhñay, Rojas Moncayo, & Barreto Calle, 2017)

A continuación, se tiene el costo de generación de estos 6 KWh basados en el precio del KWh. regulado por ARCONEL

$$\text{Costo Diario} = \text{Energía} * \text{USD}$$

$$\text{Costo Diario} = 6\text{kwh} * 0,1342 \frac{\text{USD}}{\text{kwh}}$$

$$\text{Costo Diario} = 0,8052 \frac{\text{USD}}{\text{día}}$$

El costo mensual y anual de generación serían los siguientes:

$$\text{Costo mensual} = \text{costo diario} * 30 \text{ días}$$

$$\text{Costo mensual} = 0,8052 \frac{\text{USD}}{\text{día}} * 30 \text{ días}$$

$$\text{Costo mensual} = 24,156 \frac{\text{USD}}{\text{mes}}$$

$$\text{Costo anual} = \text{costo mensual} * 12 \text{ meses}$$

$$\text{Costo anual} = 24,156 \frac{\text{USD}}{\text{mes}} * 12 \text{ meses}$$

$$\text{Costo anual} = 289,872 \frac{\text{USD}}{\text{año}}$$

El costo de inversión del módulo didáctico es aproximadamente 1800 dólares, al realizar el cálculo para recuperar esta inversión se tiene:

$$\text{Tiempo} = \frac{\text{Costo de la inversión}}{\text{Costo anual}}$$

$$\text{Tiempo} = \frac{1800}{289,872}$$

$$\text{Tiempo} = 6,2 \text{ años} \cong 6 \text{ años}$$

Una vez transcurrido el tiempo de recuperación de la inversión se tendría un ahorro de 289 USD anuales, teniendo en cuenta que la sustentabilidad se la puede medir con varios indicadores, siendo los principales económico, ambiental y social; se determinó que el proyecto es sustentable económicamente por la razón antes explicada, ambientalmente ya que se utiliza energía renovable no convencional reduciendo el impacto ambiental y utilizando un recurso renovable, socialmente es un proyecto aplicativo a nivel rural donde no exista acometidas de energía eléctrica.



## PRUEBA DE HIPÓTESIS

### Hipótesis:

“Con el diseño e implementación de un módulo didáctico de microgeneración distribuida entre microgeneración fotovoltaica y microgeneración térmica se podrá analizar la fiabilidad y sustentabilidad del suministro eléctrico durante el funcionamiento del mismo.”

### Diseño e implementación de un módulo didáctico de microgeneración distribuida.

Mediante el diseño y la implementación de un módulo didáctico se obtuvo la siguiente información.

- A  $\frac{1}{4}$  de carga la energía generada por el sistema fotovoltaico es 80% y por el sistema térmico 20% con una irradiancia entre 100 y 1220  $\text{w/m}^2$ , esta prueba duro dos horas y fue realizada entre las 13:50 hasta las 15:50.
- A  $\frac{1}{2}$  de carga la energía generada por el sistema fotovoltaico es 100%, por lo que el sistema térmico nunca entro en funcionamiento la irradiancia para esta prueba fue de 193  $\text{W/m}^2$  y 1499  $\text{W/m}^2$ , esta prueba duro dos horas y fue realizada entre las 11:32 hasta las 13:30.
- A  $\frac{3}{4}$  de carga la energía generada por el sistema fotovoltaico es 78% y por el sistema térmico 22% con una irradiancia entre 193  $\text{W/m}^2$  y 1499  $\text{W/m}^2$ , esta prueba duro dos horas y fue realizada entre las 14:18 hasta las 16:17.
- Con toda la carga instalada en funcionamiento la energía generada por el sistema fotovoltaico es 97% y por el sistema térmico 3% con una irradiancia entre 640  $\text{W/m}^2$  y 1397  $\text{W/m}^2$ , esta prueba duro dos horas y fue realizada entre las 11:56 hasta las 13:56.

### Análisis de fiabilidad y sustentabilidad del sistema energético.

Mediante la implementación del módulo didáctico se realizó varias pruebas, con la finalidad de poder analizar la fiabilidad de un sistema de microgeneración distribuida entre un sistema fotovoltaico y un sistema térmico, realizadas cuatro pruebas se pudo comprobar que en conjunto los dos sistemas son fiables ya que en tres de las pruebas el mayor aporte de energía generada es del sistema fotovoltaico con más del 70%, para que llegue a existir fiabilidad con cualquier carga instalada la irradiancia debe ser mayor a  $700 \text{ w/m}^2$ , mientras que con un análisis costo beneficio se pudo comprobar la sustentabilidad al tener un ahorro de 280 dólares al año del mismo quedando así comprobando la hipótesis.

## CONCLUSIONES

- Se diseñó y construyó un módulo didáctico de microgeneración distribuida para analizar la fiabilidad y sustentabilidad del suministro de energía entre un sistema fotovoltaico y térmico, con un análisis de datos tomados en varios días, con distintos tipos de irradiación en el laboratorio de accionamientos eléctricos.
- Se realizó la transferencia eléctrica entre el sistema fotovoltaico y sistema térmico, mediante la programación en Arduino y PLC LOGO, usando relés y sensores de voltaje que proporcionan valores en tiempo real y permitieron calibrar la transferencia en el momento necesario, tomando en cuenta que el sistema fotovoltaico es la microgeneración Master, obteniendo como valor de mínimo de voltaje para la transferencia de 11.8 V., y para que vuelva a entrar en funcionamiento el sistema Master el voltaje que se obtuvo es de 14.5 V.
- Se implementó el módulo didáctico de microgeneración distribuida en el laboratorio de accionamientos eléctricos, mediante el análisis de irradiancia en dicho lugar obteniendo un valor promedio diario de 944.8 w/m<sup>2</sup>., siendo este un lugar adecuado para la instalación del módulo didáctico.
- Mediante los distintos datos que proporciona el módulo de microgeneración distribuida, se determinó que el mismo tiene un funcionamiento de modo automático y manual con los cuales se puede realizar distintas prácticas de laboratorio utilizando solo el sistema fotovoltaico, o todo el módulo didáctico (sistema fotovoltaico y sistema térmico).
- En base a datos tomados y las curvas de voltaje obtenidas en distintas pruebas, a  $\frac{1}{4}$  de carga con una irradiación entre 100 y 1273 w/m<sup>2</sup>, el módulo es fiable debido a que solo existió una desconexión en el tiempo que duro la prueba, a  $\frac{1}{2}$  de carga con una irradiancia entre 193 y 1499 w/m<sup>2</sup>., el módulo es fiable debido a que no existió desconexiones, por la irradiancia que existió el día de la prueba.

- Una vez realizadas todas las pruebas se determinó que el módulo didáctico llega a ser fiable con irradiancias superiores a  $900 \text{ W/m}^2$ , sin depender de las cargas que se estén ocupando, ya que se garantiza que el sistema fotovoltaico tendrá un correcto funcionamiento.
- Mediante un análisis de costo-beneficio se determinó que el módulo de microgeneración es sustentable debido a que con el mismo se puede llegar a tener un ahorro de 289 USD anuales, siendo el tiempo de recuperación de la inversión de 6 años, enfocados a una instalación domiciliaria, todo esto mediante el uso de una energía renovable no convencional (fotovoltaico) que disminuye el impacto ambiental.

## RECOMENDACIONES

- Se puede ampliar el proyecto de investigación mediante la implementación de un sistema de microgeneración eólica, así se podría optimizar el funcionamiento del módulo e incrementar la sustentabilidad del mismo por el uso de más energías renovables.
- Para tener una base de datos como voltajes e irradiancias se puede conectar el controlador Arduino directamente al computador y realizar las lecturas mediante el software del mismo.
- Se sugiere utilizar el módulo didáctico en días donde la irradiancia supere los  $700 \text{ w/m}^2$ , para tener un buen funcionamiento del módulo.
- Verificar el estado y funcionamiento del generador eléctrico antes de realizar cualquier práctica.
- Se recomienda usar el módulo didáctico entre las horas de 10:00 a 15:00

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abella, M. A. (2011). *Sistemas Fotovoltaicos*. Madrid: Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas.
- AESO. (2008). *Connecting micro-generation*. Alberta: Alberta Electric System Operator.
- Álvarez , G. X., & Vaca, H. I. (2014). *Diseño e implementación de una microred híbrida a base de energía fotovoltaica y energía térmica diésel en la empresa Trace OildField Services Cia. Ltda. Para reducir la contaminación ambiental*. Latacunga: ESPE.
- Andrews, D. (06 de Noviembre de 2008). *Claverton Energy Research Group*. Recuperado el 08 de Enero de 2018, de Claverton Energy Research Group: <http://www.claverton-energy.com/what-is-microgeneration.html>
- Arduino*. (2016). Recuperado el 2018 de 12 de Abril, de Arduino: <http://arduino.cl/que-es-arduino/>
- Arquero, B. (2009). *Investigación Experimental*. Mexico D.F.: UAM.
- Asamblea Nacional del Ecuador. (2010). *Ley Organica de Educación Superior*. Quito: Asamblea Nacional del Ecuador.
- Bigorda, T. (5 de Marzo de 2017). *Renovables Verdes*. Recuperado el 05 de Marzo de 2018, de Renovables verdes: <https://www.renovablesverdes.com/se-genera-usos-la-energia-solar-fotovoltaica/>
- Cahors. (2013). *Equipos de protección para instalaciones fotovoltaicas*. Vilamalla: Aenor.
- Calva, J. L. (2007). Política Energética. En J. L. Calva, *Política Energética* (pág. 362). Mexico D.F.: UNAM.

- CEAACES. (2015). *Modelo genérico de evaluación del entorno de aprendizaje de carreras presenciales y semipresenciales de las Universidades y Escuelas Politécnicas del Ecuador (Versión Matricial)*. Quito: CEAACES.
- CELEC EP. (2016). *Cooperación Eléctrica Nacional*. Recuperado el 16 de Febrero de 2018, de Cooperación Eléctrica Nacional: <https://www.celec.gob.ec/capacidad-instalada/generacion.html>
- Community, E. 1. (2015). *Element 14 Community*. Recuperado el 16 de Abril de 2018, de Element 14 Community: <https://www.element14.com/community/community/arduino/blog/2016/02/22/nextion-hmi-display-a-user-interface-that-is-simple-and-easy-to-use>
- Cortés, F. (2008). *Estudio de Factibilidad del Uso de Microgeneración en base a energías renovables en redes de baja tensión*. Santiago de Chile: Universidad de Chile.
- Díaz, T. (2010). *Instalaciones Solares Fotovoltaicas*. Madrid: S.A. MCGRAW-HILL / INTERAMERICANA DE ESPAÑA.
- Eastron. (2015). *SDM230-Modbus*. Zhejiang: Jiaying Eastron Electronic Instruments Co.,Ltd.
- Echeverría, C. A. (2011). *Diseño de un colector cilindro parabólico compuesto con aplicación para el calentamiento de agua*. Piura: Universidad de Piura.
- Energy, V. (2012). *Controladores de Carga*. Beijing: Victron Energy B.V.
- Fenercom. (2012). *Guía Básica de Microgeneración*. Madrid: Fenercom.
- Fernandez, J. (21 de Abril de 2015). *Monografías*. Recuperado el 20 de Marzo de 2018, de Monografías: <http://www.monografias.com/trabajos104/microcogeneracion-nuestros-hogares/microcogeneracion-nuestros-hogares.shtml>
- Fowler, E. (2014). *Advantages and Disadvantages of Micro-Generation*. Recuperado el 14 de Diciembre de 2017, de [getrevising.co.uk](http://getrevising.co.uk):

[https://getrevising.co.uk/grids/advantages\\_and\\_disadvantages\\_of\\_micro\\_generation](https://getrevising.co.uk/grids/advantages_and_disadvantages_of_micro_generation)

Ginn, C. (09 de Septiembre de 2016). *CSIROscope*. Recuperado el 17 de Noviembre de 2017, de CSIROscope: <https://blog.csiro.au/energy-pick-n-mix-hybrid-systems-next-big-thing/>

Grupo NAP. (2002). *Energía Solar Fotovoltaica*. Madrid: Colegio Oficial de Ingenieros de Telecomunicación.

HC Energía. (18 de Febrero de 2018). *Eficiencia Energética*. Obtenido de Eficiencia Energética: <http://eficiencia.hcenergia.com/eficiencia/portal.do?IDM=16&NM=3>

Herrera, H. M. (2013). *MICROGENERACION DISTRIBUIDA CON SISTEMAS FOTOVOLTAICOS EN VIVIENDAS URBANAS PARA MITIGAR IMPACTOS AMBIENTALES*. Lima: Universidad Nacional de Energía.

HISA. (2012). *Manual del Operador*. Nueva York: HISA.

INER. (2014). *INER*. Quito: INER.

Jiménez, L. (2000). *Desarrollo sostenible: Transición hacia la coevolución global*. Madrid: Piramide.

Jinge Power Co., L. (2015). *Inversor de Potencia 300w DC Onda Sinusoidal*. Beijing: Jinge Power Co., Ltd.

Klapper, F. (06 de Septiembre de 2009). <http://www.automotriz.net>. Recuperado el 16 de Abril de 2018, de <http://www.automotriz.net>: <http://www.automotriz.net/cms/tecnica/que-es-un-rele-y-que-funcion-cumplen-en-los-autos-2/>

Llamas, L. (29 de Diciembre de 2016). [www.luisllamas.es](http://www.luisllamas.es). Recuperado el 12 de Abril de 2018, de [www.luisllamas.es](http://www.luisllamas.es): <https://www.luisllamas.es/medir-voltajes-de-hasta-25v-con-arduino-y-fz0430/>



- LOGO, S. (2014). *Siemens LOGO*. Recuperado el 19 de Abril de 2018, de Siemens LOGO: <http://siemenslogo.com/que-es-un-siemens-logo/>
- MIEMDNE. (2013). *Microgeneración en Uruguay*. Montevideo: MIEMDNE.
- Mora, N. (2015). *La investigación bibliográfica*. Palermo: Palermo.
- Muñoz Vizhñay, J. P., Rojas Moncayo, M. V., & Barreto Calle, C. R. (2017). Incentivo a la generación distribuida. *INGENIUS*, 60.
- Rambal. (2016). *Sensor de Radiación Ultravioleta (UV)- UVM 30A*. Recuperado el 18 de Marzo de 2018, de <http://rambal.com/color-luz-forma/192-sensor-ultravioleta-uv-uvm30a.html>
- Ramírez, M. (2012). Energía y sustentabilidad: Algunas características de la energía sustentable. *Revista Digital Universitaria UNAM*, 1-9.
- Rodríguez, M. (19 de 03 de 2013). *Revista Digital INESEM*. Recuperado el 17 de Enero de 2018, de Revista Digital INESEM: <https://revistadigital.inesem.es/gestion-integrada/diferencia-reles-contactoress/>
- Romero, J. M. (3 de Enero de 2012). *Electricidad Automotriz*. Recuperado el 16 de Abril de 2018, de Electricidad Automotriz: <http://electroaut.blogspot.com/2012/01/como-instalar-un-rele-universal-de-5.html>
- SENPLADES. (2008). *Disponibilidad de recursos naturales renovables*. Quito: SENPLADES.
- Simax. (2005). *Model:SM636-150*. Beijing: Simax Green New Energy Co.,Ltd.
- SOLIDWORKS. (2017). *Solidworks Mallado*. Massachusetts: SOLIDWORKS.
- Technology, S. Y. (2012). *Fuente de Alimentación 12V 40A*. Shenzhen: Shenzhen Yidashun.
- Tituaña, M. (2014). Micro generación en sistemas de generación distribuida y su impacto a la red de baja tensión. *ResearchGate*, 4-5.

- Tolocka, E. (09 de Mayo de 2015). <http://www.profetolocka.com.ar>. Recuperado el 2 de Abril de 2018, de <http://www.profetolocka.com.ar>: <http://www.profetolocka.com.ar/2015/05/09/modulo-de-4-reles-para-arduino/#comment-46>
- Toro, J. M., & Mantilla, C. A. (2017). *Diseño e implementación de un colector cilindrico parabolico con seguimiento solar para obtener agua caliente*. Latacunga: ESPE.
- Ventosa, M., & Ramos, A. (2006). Modelo de Sistemas de Energía Eléctrica. *Instituto de Investigación Tecnológica*, 5-10.
- Vercelli, A. (17 de Octubre de 2012). *Energías como bienes comunes*. Recuperado el 12 de Noviembre de 2017, de Energías como bienes comunes: <http://www.energias.bienescomunes.org/2012/10/17/que-es-la-microgeneracion-de-energias-renovables/>
- Villalba, D. E. (2011). *Sistemas SCADA para Micro-redes con Sistemas Híbridos de Generación para Comunidades*. Santiago de Chile: Universidad de Chile.

# ANEXOS



**DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA**  
**CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTROMECAÁNICA**

**CERTIFICACIÓN**

Se certifica que el presente trabajo fue desarrollado por los señores: **Ángel Ricardo Damacela Toaza, Bryan Enrique Guamangate Lagla.**

En la ciudad de Latacunga, a los 26 días del mes de junio del 2018.

Aprobado por:

Ing. Álvaro Mullo

**DIRECTOR DEL PROYECTO**

Ing. Katya Torres

**DIRECTORA DE LA CARRERA**

Ing. Rodrigo Vacá

**SECRETARIO ACADÉMICO**

