



**Universidad  
Técnica de  
Cotopaxi**

# UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

## FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS

CARRERA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA EN SISTEMAS ELÉCTRICOS DE  
POTENCIA

### PROPUESTA TECNOLÓGICA

#### **IMPLEMENTACIÓN DE UN MÓDULO EXPERIMENTAL PARA EL ESTUDIO DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS**

Proyecto de Titulación presentado previo a la obtención de Título de Ingeniero  
Eléctrico en Sistemas Eléctricos de Potencia

**Autores:**

Estrella Tapia Diego Fernando

Pazuña Naranjo William Paul

**Tutor:**

PHD. Marrero Ramírez Secundino

Latacunga – Ecuador

2018



## DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Nosotros Estrella Tapia Diego Fernando y Pazuña Naranjo William Paul declaramos ser autores del presente proyecto de investigación “IMPLEMENTACIÓN DE UN MÓDULO EXPERIMENTAL PARA EL ESTUDIO DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS”, siendo el PhD. Secundino Marrero tutor del presente trabajo; y eximo expresamente a la Universidad Técnica de Cotopaxi y a sus representantes legales de posible reclamos o acciones legales.

Además, certificamos que las ideas, conceptos, procedimientos y resultados vertidos en el presente trabajo de investigativo, son de nuestra exclusiva responsabilidad.

Estrella Tapia Diego Fernando

C.I. 050307867-7

Pazuña Naranjo William Paul

C.I. 050333859-2



Universidad  
Técnica de  
Cotopaxi



Ingeniería  
Eléctrica

## AVAL DEL TUTOR DE PROYECTO DE TITULACIÓN

En calidad de Tutor del Trabajo de Investigación sobre el título:

“IMPLEMENTACIÓN DE UN MÓDULO EXPERIMENTAL PARA EL ESTUDIO DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS”, de Estrella Tapia Diego Fernando y Pazuña Naranjo William Paul, de la carrera de Ingeniería Eléctrica, considero que dicho Informe Investigativo cumple con los requerimientos metodológicos y aportes científico-técnicos suficientes para ser sometidos a la evaluación del Tribunal de Validación de Proyecto que el Honorable Consejo Directivo de la FACULTAD de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas de la Universidad Técnica de Cotopaxi designe, para su correspondiente estudio y calificación.

Latacunga., 07, 2018

El Tutor

PHD. Secundino Marrero Ramírez

CI: 175710790-3



## APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN

En calidad de Tribunal de Lectores, aprueban el presente Informe de Investigación de acuerdo a las disposiciones reglamentarias emitidas por la Universidad Técnica de Cotopaxi, y por la FACULTAD de **CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS.**; por cuanto, el o los postulantes: **ESTRELLA TAPIA DIEGO FERNANDO** y **PAZUÑA NARANJO WILLIAM PAUL** con el título de Proyecto de titulación: **“IMPLEMENTACIÓN DE UN MÓDULO EXPERIMENTAL PARA EL ESTUDIO DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS”** han considerado las recomendaciones emitidas oportunamente y reúne los méritos suficientes para ser sometido al acto de Sustentación de Proyecto.

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

Latacunga, 20 de julio de 2018

Para constancia firman:

Lector 1 (Presidente)  
Nombre: Franklin Vásquez  
CC: 171043449-7

Lector 2  
Nombre: Rommel Suarez  
CC: 180416535-3

Lector 3  
Nombre: Marco León  
CC: 050230540-2



Universidad  
Técnica de  
Cotopaxi



Ingeniería  
Eléctrica

## AVAL DE IMPLEMENTACIÓN

En calidad de director de la Carrera de Ingeniería Eléctrica de la Institución de Educación Superior “Universidad Técnica de Cotopaxi” Aprueba la implementación de la propuesta Tecnológica sobre el título: **“IMPLEMENTACIÓN DE UN MÓDULO EXPERIMENTAL PARA EL ESTUDIO DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS”** que realizaron los señores Diego Estrella con número de cédula de ciudadanía 050307867-7 y William Pazuña con número de cédula de ciudadanía 050333859-2.

Latacunga, julio de 2018

PHD. Secundino Marrero

CC: 175710790-3

Director de la Carrera de Ing. Eléctrica

## **AGRADECIMIENTO**

¡Gracias doy a Dios, que me da la victoria  
por medio de nuestro Señor Jesucristo!

Diego Estrella

## **DEDICATORIA**

Dedicado a Jesucristo por esta nueva oportunidad, por esta nueva esperanza que pones hoy en mi corazón.”

Diego Estrella

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a Dios por protegerme durante todo mi camino y darme fuerzas para superar obstáculos y dificultades a lo largo de toda mi vida.

Gracias a mis padres: Elena Naranjo y Marcelo Pazuña, por ser los principales promotores de mis sueños, por confiar y creer en mis expectativas, por los consejos, valores y principios que me han inculcado.

William Pazuña

## **DEDICATORIA**

Dedico este trabajo principalmente a Dios, por haberme dado la vida y permitirme el haber llegado hasta este momento tan importante de mi formación profesional. A mi madre, por ser el pilar más importante y por demostrarme siempre su cariño y apoyo incondicional sin importar nuestras diferencias y opiniones.

William Pazuña

## ÍNDICE

PORTADA.....	i
DECLARACIÓN DE AUTORIA.....	ii
AVAL DEL TUTOR.....	iii
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL.....	iv
AVAL DE IMPLEMENTACIÓN.....	v
AGRADECIMIENTO.....	vi
DEDICATORIA.....	vii
AGRADECIMIENTO.....	viii
DEDICATORIA.....	ix
INDICE.....	x
RESUMEN.....	xviii
ABSTRACT.....	xix
AVAL DE TRADUCCIÓN.....	xx
1. INFORMACIÓN BÁSICA .....	1
PROPUESTO POR: .....	1
TEMA APROBADO:.....	1
CARRERA: .....	1
DIRECTOR DEL PROYECTO DE TITULACIÓN:.....	1
EQUIPO DE TRABAJO: .....	1
LUGAR DE EJECUCIÓN: .....	1
TIEMPO DE DURACIÓN DEL PROYECTO:.....	1
FECHA DE ENTREGA:.....	1
LÍNEA Y SUBLÍNEA DE INVESTIGACIÓN A LAS QUE SE ASOCIA EL PROYECTO:.....	1
TIPO DE PROPUESTA TECNOLÓGICA: .....	1
2. DISEÑO INVESTIGATIVO DE LA PROPUESTA TECNOLÓGICA.....	2

2.1. Título de la propuesta tecnológica.....	2
2.2. Tipo de propuesta alcance .....	2
2.3. Área del conocimiento.....	2
2.4. Sinopsis de la propuesta tecnológica.....	2
2.5. Objeto de estudio y campo de acción .....	2
2.5.1. Objeto de estudio.....	2
2.5.2. Campo de acción .....	2
2.6. Situación problémica y problema .....	3
2.6.1. Situación problémica:.....	3
2.6.2. Problema.....	3
2.7. Hipótesis.....	3
2.8. Objetivos.....	4
2.8.1. Objetivo general .....	4
2.8.2. Objetivos específicos.....	4
2.9. Descripción de las actividades y tareas propuestas con los objetivos establecidos.....	4
<b>3. MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>6</b>
3.1. Introducción a la energía solar en Ecuador .....	6
3.2. Programa cero viviendas sin luz.....	7
3.3. Sistemas fotovoltaicos aislados de la red eléctrica.....	8
3.3.1. Componentes de un sistema aislado .....	8
3.4. Consumo de energía por día .....	9
3.5. Consumo real o efectivo (Wh) .....	10
3.6. Capacidad de almacenamiento .....	11
3.7. Número de paneles solares .....	12
3.8. Controlador de carga .....	13
3.9. Módulos de entrenamiento y práctica de energía fotovoltaica.....	14

3.9.1. Diseño e implementación de un laboratorio de energía fotovoltaica para ITCA-FEPADE Centro Regional San Miguel .....	14
3.10. Tablero de mesa energía solar fotovoltaica inicial .....	14
3.11. Tablero de mesa energía solar fotovoltaica intermedio.....	15
3.12. Tablero didáctico fotovoltaico para el laboratorio de electricidad de la Universidad Técnica del Norte.....	16
4. METODOLOGÍA.....	16
4.1. Métodos .....	16
4.1.1. La observación.....	16
4.1.2. La encuesta .....	17
4.1.3. Investigación descriptiva .....	17
4.1.4. Método inductivo.....	17
4.1.5. Método cuantitativo.....	17
4.2. Instrumentos .....	17
4.2.1. Registro anecdótico .....	17
4.2.2. El cuestionario .....	17
4.2.3. La medición .....	18
4.2.4. Piranómetro .....	18
4.2.5. Osciloscopio .....	18
4.2.6. Analizador de carga FLUKE 1735 .....	18
4.2.7. AMPROBE ADC-41PQ TRU RMS .....	19
4.2.8. Multímetro FLUKE 117 TRU RMS.....	19
4.3. El software.....	20
4.3.1. Raspbian .....	20
4.3.2. Arduino.....	20
4.3.3. Python.....	20
4.3.4. ThingSpeak.....	20

5. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS .....	21
5.1. Encuesta realizada a los estudiantes .....	21
5.2. Encuesta realizada a los docentes .....	26
5.3. Resultados de la encuesta a docentes .....	28
5.4. Equipos a utilizarse para la realización del módulo experimental fotovoltaico. ....	28
5.5. Resultados al diseño del módulo experimental .....	31
5.6. Medidas de radiación y ángulos de inclinación.....	32
5.7. Sistema de monitoreo de variables .....	32
5.7.1. Divisor de tensión y el sensor de voltaje para Arduino .....	32
5.7.2. Sensor de Corriente para Arduino .....	33
5.7.3. Placa Arduino Mega 2560 .....	33
5.7.4. La Raspberry Pi 3 .....	33
5.8. Determinación de Variables .....	34
5.8.1. Potencia Activa o promedio .....	34
5.8.2. Potencia Aparente.....	34
5.8.3. Factor de potencia.....	34
5.8.4. Potencia Reactiva .....	34
5.9. Funcionamiento en la adquisición de datos .....	34
5.10. Resultados del módulo con cargas típicas de una vivienda.....	35
5.11. Construcción y partes del módulo experimental fotovoltaico .....	39
5.12. Resultados del módulo con cargas típicas de una vivienda.....	41
5.13. Validación de hipótesis.....	46
6. ANÁLISIS TÉCNICO ECONÓMICO Y ANÁLISIS DE IMPACTOS.....	46
6.1. Costo de materiales.....	46
6.2. Comparación técnica y económica con el equipo Lab-Volt 46120.....	48
6.3. Análisis de impactos .....	50
7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	52

7.1. Conclusiones.....	52
7.2. Recomendaciones .....	53
8. BIBLIOGRAFÍA .....	54
9. ANEXOS .....	56

## Índice de Tablas

Tabla 2.1. Actividades, resultados y métodos de verificación .....	4
Tabla 3.1. Balance Nacional de Energía enero 2018.....	7
Tabla 3.2. Consumo energético diario para el modulo experimental.....	10
Tabla 5.1. Medida de irradiación por panel y por ángulo de inclinación del reflector.....	32
Tabla 5.2. Toma de datos para varios tipos de cargas y la comparación con la toma de valores con otros equipos de medida. ....	35
Tabla 5.3. Valores resultantes a una carga de 20 W.....	36
Tabla 5.4. Valores resultantes a una carga de 7 W.....	37
Tabla 5.5. Valores resultantes a una carga de 100 W.....	38
Tabla 5.6. Toma de datos para varios tipos de cargas y la comparación con la toma de valores con otros equipos de medida .....	41
Tabla 5.7. Resultados descargados en una tabla de Excel de la página web de ThingSpeak para una Radio + computador + cargador de taladro + televisión.....	42
Tabla 5.8. Resultados descargados en una tabla de Excel de la página web de ThingSpeak para un capacitor 20uf + foco incandescente + foco led + foco fluorescente + radio + tv + cargador .....	44
Tabla 6.1. Costos de materiales .....	46
Tabla 6.2. Comparación Técnica entre el MEF y Lab-Volt 46120.....	48

## Índice de Figuras

Figura 3.1. Programa “Cero Viviendas sin luz” .....	8
Figura 3.2. Tipos de paneles fotovoltaicos .....	8
Figura 3.3. Componentes de un sistema fotovoltaico asilado .....	9
Figura 3.4. Laboratorio energías renovables de la ITCA-FEPADE.....	14
Figura 3.5. Tablero de mesa inicial marca INSUR Modelo SOL 12 TM4.....	15
Figura 3.6. Tablero de mesa intermedio marca INSUR Modelo SOL 13 TM8 .....	15
Figura 3.7. Tablero didáctico fotovoltaico Universidad Técnica del Norte .....	16
Figura 4.1. Medición de radiación incidente sobre el panel solar .....	18
Figura 4.2. Analizador de red Fluke 1735 .....	18
Figura 4.3. Pinza amperométrica TRU RMS .....	19
Figura 4.4. Multímetro FLUKE 117.....	19
Figura 4.5. ThingSpeak, almacenamiento, recuperación, procesamiento y visualización de datos.....	20
Figura 5.1. Resultado a la pregunta 1 de encuesta realizada a los estudiantes de Ingeniería Eléctrica.....	21
Figura 5.2. Resultado a la pregunta 2 de encuesta realizada a los estudiantes de Ingeniería Eléctrica.....	22
Figura 5.3. Resultado a la pregunta 3 de encuesta realizada a los estudiantes de Ingeniería Eléctrica.....	23
Figura 5.4. Resultado a la pregunta 4 de encuesta realizada a los estudiantes de Ingeniería Eléctrica.....	24
Figura 5.5. Resultado a la pregunta 5 de encuesta realizada a los estudiantes de Ingeniería Eléctrica.....	25
Figura 5.6. Resultado a la pregunta 1 de encuesta realizada a los docentes de Ingeniería Eléctrica.....	26
Figura 5.7. Resultado a la pregunta 2 de encuesta realizada a los docentes de Ingeniería Eléctrica.....	26
Figura 5.8. Resultado a la pregunta 3 de encuesta realizada a los docentes de Ingeniería Eléctrica.....	27
Figura 5.9. Resultado a la pregunta 4 de encuesta realizada a los docentes de Ingeniería Eléctrica.....	27

Figura 5.10. Resultado a la pregunta 5 de encuesta realizada a los docentes de Ingeniería Eléctrica.....	28
Figura 5.11. Diagrama de bloques para el módulo experimental fotovoltaico.....	30
Figura 5.12. Resultado al diseño propuesto del módulo experimental fotovoltaico (parte 1)..	31
Figura 5.13. Resultado al diseño propuesto del módulo experimental fotovoltaico (parte 2)..	31
Figura 5.14. Divisor resistivo .....	32
Figura 5.15. Equipo experimental de monitoreo (vista interior).....	33
Figura 5.16. Equipo experimental de monitoreo (vista exterior) .....	34
Figura 5.17. Gráficas de los resultados dados por el módulo en la página web de ThingSpeak para un foco fluorescente de 20W.....	36
Figura 5.18. Gráficas de los resultados dados por el módulo en la página web de ThingSpeak para un foco led de 7W.....	37
Figura 5.19. Gráficas de los resultados dados por el módulo en la página web de ThingSpeak para un foco incandescente de 100W. ....	38
Figura 5.20. Tablero principal y las partes que lo componen.....	39
Figura 5.21. Banco de baterías de 100 Ah 24V .....	39
Figura 5.22. Resultados dados por el módulo en la página web de ThingSpeak para una radio + computador + cargador de taladro + televisión.....	43
Figura 5.23. Resultados dados por el módulo en la página web de ThingSpeak para un capacitor 20uf + foco incandescente + foco led + foco fluorescente + radio + tv + cargador .	45

# UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

## FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS

**TITULO:** “IMPLEMENTACIÓN DE UN MÓDULO EXPERIMENTAL PARA EL ESTUDIO DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS”

**Autores: Estrella Tapia Diego Fernando**

**Pazuña Naranjo William Paul**

### RESUMEN

El proyecto ha sido destinado a la implementación de un módulo experimental fotovoltaico con fines didácticos, destinado a la educación y al desarrollo de tecnología en la región, el cual permite, realizar conexiones de sistemas convencionales fotovoltaicos desde su parte inicial hasta su puesta en funcionamiento; además de realizar el monitoreo de cada una de las variables eléctricas como son el voltaje, corriente, potencia aparente, potencia activa, potencia reactiva y factor de potencia de cada una de las cargas (AC) conectadas al sistema, el cual en su circuitos incluyen un divisor de voltaje, un sensor de corriente ACS712 de 30A, un sensor de voltaje FZ0430 de 25V (DC) y programación en las tarjetas Arduino Mega 2560 y Raspberry Pi 3, permitiendo a los estudiantes realizar un análisis con los datos obtenidos mediante la página web de ThingSpeak, página de la cual se puede descargar una hoja de cálculo con los valores correspondientes a los parámetros eléctricos en práctica de laboratorio realizada; en el diseño incluye estructuras metálicas fijas en la pared para los paneles solares los cuales permiten graduar los ángulos de inclinación y la distancia de los reflectores (500W cada uno) que se ubican frente estos; el módulo incluye costos relativamente bajos en comparación con los encontrados en el mercado además de tener muchas más prestaciones superando ampliamente en el análisis técnico económico; teniendo así su contribución tecnológica, social e innovadora que es destinada para futuras investigaciones, estableciendo un aporte para la sociedad, medioambiente y a la necesidad puntual de sustituir energías provenientes de los combustibles fósiles por energía limpia y renovable.

**Palabras clave:** Módulo experimental, sistema fotovoltaico, parámetros eléctricos, ThingSpeak, Arduino, Raspberry Pi, sensor.

# TECHNICAL UNIVERSITY OF COTOPAXI

## FACULTY OF ENGINEERING AND APPLIED SCIENCES

**TITLE:** "IMPLEMENTATION OF AN EXPERIMENTAL MODULE FOR THE STUDY OF PHOTOVOLTAIC SYSTEMS"

**Authors:** Estrella Tapia Diego Fernando  
Pazuña Naranjo William Paul

### ABSTRACT

The project has been destined to the implementation of an experimental photovoltaic module with didactic aims, guided to the education and the development of technology in the region, which allows, to make connections of conventional photovoltaic systems from its initial part until its start-up; besides to monitor each of the electrical variables such as voltage, current, apparent power, active power, reactive power and power factor of each of the loads (AC) connected to the system, which in its circuits include a voltage divider, an ACS712 current sensor 30A, a voltage sensor FZ0430 25V (DC) and programming Arduino Mega 2560 and Raspberry Pi 3 cards, allowing students to perform an analysis with the obtained data through the page ThingSpeak website, page from which it can download a spreadsheet with the values corresponding to the electrical parameters in laboratory practice; at designing it includes fixed metallic structures in the wall for the solar panels which allow to adjust the inclination angles and the reflectors distance (500W each) that are located in front of these; the module includes relatively low costs compared to those found on market, in addition to have many more benefits exceeding at technical economic analysis; having thus its technological, social and innovative contribution that is destined for future investigating, establishing a contribution for the society, environment and to the punctual need to replace energies coming from fossil fuels by clean and renewable energy.

**Keywords:** Experimental module, photovoltaic system, electrical parameters, ThingSpeak, Arduino, Raspberry Pi, sensor.



## ***AVAL DE TRADUCCIÓN***

En calidad de Docente del Idioma Inglés del Centro de Idiomas de la Universidad Técnica de Cotopaxi; en forma legal **CERTIFICO** que: La traducción del resumen de tesis al Idioma Inglés presentado por los señores Egresados de la Carrera de **INGENIERÍA ELÉCTRICA** de la **UNIDAD ACADÉMICA DE CIENCIAS DE LA INGENIERIA Y APLICADAS**, **Estrella Tapia Diego Fernando y Pazuña Naranjo William Paul** cuyo título versa **“IMPLEMENTACIÓN DE UN MÓDULO EXPERIMENTAL PARA EL ESTUDIO DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS”** lo realizó bajo mi supervisión y cumple con una correcta estructura gramatical del Idioma.

Es todo cuanto puedo certificar en honor a la verdad y autorizo al peticionario hacer uso del presente certificado de la manera ética que estimaren conveniente.

Latacunga, **julio del 2018**

Atentamente,

**MARCELO PACHECO**  
**DOCENTE CENTRO DE IDIOMAS**  
**C.C. 050261735-0**



CENTRO  
DE IDIOMAS

## **1. INFORMACIÓN BÁSICA**

### **PROPUESTO POR:**

Estrella Tapia Diego Fernando

Pazuña Naranjo William Paul

### **TEMA APROBADO:**

Implementación de un módulo experimental para el estudio de sistemas fotovoltaicos.

### **CARRERA:**

Ingeniería Eléctrica en Sistemas Eléctricos de Potencia

### **DIRECTOR DEL PROYECTO DE TITULACIÓN:**

Ing. MSc. Verónica Tapia Cerda

### **EQUIPO DE TRABAJO:**

Tutor: PHD. Marrero Ramírez Secundino

Postulantes: Estrella Tapia Diego Fernando

Pazuña Naranjo William Paul

### **LUGAR DE EJECUCIÓN:**

Región Sierra, Cotopaxi, Latacunga, Eloy Alfaro

### **TIEMPO DE DURACIÓN DEL PROYECTO:**

10 octubre de 2017 a 3 de agosto de 2018

### **FECHA DE ENTREGA:**

3 agosto de 2018

### **LÍNEA Y SUBLÍNEA DE INVESTIGACIÓN A LAS QUE SE ASOCIA EL PROYECTO:**

Línea: Energías Alternativas y Renovables, Eficiencia Energética y Protección Ambiental

Sublínea: Conversión y Uso Racional de la Energía Eléctrica

### **TIPO DE PROPUESTA TECNOLÓGICA:**

Desarrollo

## **2. DISEÑO INVESTIGATIVO DE LA PROPUESTA TECNOLÓGICA**

### **2.1. Título de la propuesta tecnológica**

Implementación de un Módulo Experimental para el Estudio de Sistemas Fotovoltaicos Aislados de la Red.

### **2.2. Tipo de propuesta alcance**

Integrador

### **2.3. Área del conocimiento**

Campo detallado: Electricidad y Energía

Campo amplio: Ingeniería, Industria y Construcción

### **2.4. Sinopsis de la propuesta tecnológica**

El proyecto está destinado a la implementación de un módulo experimental fotovoltaico con fines didácticos, propuesto a la educación y al desarrollo de tecnología en la región, el cual permitirá, realizar conexiones de sistemas convencionales fotovoltaicos desde su parte inicial hasta su puesta en funcionamiento; además de realizar el monitoreo de cada una de las variables eléctricas para su posterior análisis, visualizándolos en una pantalla, mediante la página web de ThingSpeak, donde es posible obtener los datos, mediante una hoja de cálculo con todos los valores de potencia aparente, activa, reactiva, factor de potencia, voltaje y corriente, el módulo se localiza en el laboratorio de energías alternativas de la Carrera de Ingeniería en Electricidad de la Universidad Técnica de Cotopaxi, teniendo así su contribución tecnológica, social e innovadora que será destinada a futuras investigaciones, estableciendo un aporte para la sociedad, medioambiente y a la necesidad puntual de sustituir energías provenientes de los combustibles fósiles por energía limpia y renovable.

### **2.5. Objeto de estudio y campo de acción**

#### **2.5.1. Objeto de estudio**

Generación fotovoltaica

#### **2.5.2. Campo de acción**

Monitoreo de parámetros eléctricos

## **2.6. Situación problémica y problema**

### **2.6.1. Situación problémica:**

El uso de las energías renovables en la provincia de Cotopaxi es bastante escaso, aun cuando, existe gran potencial para desarrollar la energía fotovoltaica y la biomasa, conociendo que la cobertura eléctrica, en el área de servicio de la ELEPCO SA. fue del 97%, acorde con El Plan Operativo Anual de la Empresa Eléctrica Cotopaxi 2014 -2017, encontrando que, una de las mejores soluciones para que el área rural donde no llega el servicio de energía eléctrica pueda contar con el servicio de energía fotovoltaica, ya que es más costoso llevar mediante el cableado convencional la energía necesaria para electrificar a los domicilios que se encuentran más alejados. Por lo tanto, queda una gran obligación el investigar y dar a conocer sobre las mejores alternativas en el uso de las energías renovables ya que la provincia se encuentra en la zona ecuatorial donde la incidencia del sol es aventajado, lo mejor será promover y fomentar el uso de la energía solar fotovoltaica, la cual permitirá solucionar al 100% la falta de cobertura en energía eléctrica en la provincia.

En el proceso de formación del Ingeniero en Electricidad debe tener una mayor componente práctica asociada a la formación e investigación, mediante un módulo experimental que permita realizar prácticas, para obtener elementos asociados a la energía fotovoltaica, permitiendo a los docentes y estudiantes obtener mejores resultados en la enseñanza aprendizaje y promoviendo la aplicación y uso de energía solar en la región.

### **2.6.2. Problema**

Existe insuficiente implementación e investigación de sistemas fotovoltaicos en la región, perdiendo un recurso con un gran potencial en la zona, esto se da también por el poco desarrollo en el conocimiento, inducción y capacitación práctica sobre el manejo y ventaja de este tipo de sistema alternativo y limpio dentro de la formación académica de los estudiantes de Ingeniería en Electricidad para la futura aplicación en el plano educativo, laboral y social, y la actividad que se le puede dar especialmente en zonas aisladas de la red eléctrica pública; es un problema al ser este un servicio básico para las personas y colectividad en general a pleno siglo XXI.

## **2.7. Hipótesis**

Si se desarrolla un módulo experimental para el análisis de los parámetros eléctricos en sistemas fotovoltaicos, entonces se podrán fortalecer los procesos de formación e

investigación del Ingeniero en Electricidad, para la implementación de sistemas fotovoltaicos aislados de la red en la región.

## 2.8. Objetivos

### 2.8.1. Objetivo general

Implementar un módulo experimental fotovoltaico, para fortalecer los procesos de formación de la carrera de Ingeniería en Electricidad y potenciar la investigación para introducir los sistemas solares en la región.

### 2.8.2. Objetivos específicos

- Determinar una de las necesidades del laboratorio de energías alternativas.
- Diseñar un módulo experimental fotovoltaico para el análisis de parámetros eléctricos
- Determinar el sistema de monitoreo de variables
- Construir el módulo fotovoltaico de experimentación para el laboratorio de energías renovables y realizar el análisis técnico económico.

## 2.9. Descripción de las actividades y tareas propuestas con los objetivos establecidos

**Tabla 2.1. Actividades, resultados y métodos de verificación**

<b>OBJETIVOS</b>	<b>ACTIVIDAD</b>	<b>RESULTADO DE LA ACTIVIDAD</b>	<b>MÉTODOS DE VERIFICACIÓN</b>
Determinar una de las necesidades del laboratorio de energías alternativas.	Inspección al laboratorio de energías alternativas y realización de una encuesta para conocer las necesidades del laboratorio.	Como réplica a la encuesta y a la inspección realizada se implementará un módulo experimental fotovoltaico como material de apoyo para la enseñanza aprendizaje.	Análisis y resultados de la encuesta realizada a los estudiantes y docentes que reciben e imparten actualmente la materia de energías renovables.

Diseñar un módulo experimental fotovoltaico para el análisis de parámetros eléctricos.	Realización del boceto en un software de modelación para el dimensionamiento del espacio físico en el laboratorio y en el tablero.	Dimensionamiento del espacio físico del panel y de cada uno de los equipos.	Bocetos creados en NANOCAD del módulo experimental.
Determinar el sistema de monitoreo de variables.	Investigación en las ramas de electrónica y programación para localizar los elementos que permita la realización del proyecto.	Mediante sensores de voltaje y corriente correctamente acoplados a tarjetas Arduino y Raspberry Pi se logra adquirir sus parámetros a analizar.	Obtención de la base de datos de voltaje y corriente para el análisis de información.
Construir el módulo fotovoltaico de experimentación para el laboratorio de energías renovables y realizar el análisis técnico económico.	Construcción de un módulo experimental fotovoltaico para uso didáctico en la enseñanza de sistemas aislados de la red.	Un módulo experimental que muestre los parámetros eléctricos de las cargas conectadas al mismo y un estudio de presupuesto técnico y económico.	Visualización de las gráficas de parámetros eléctricos del módulo en la página de ThingSpeak, logrando costos comparativamente más bajos respecto a los módulos que se encuentran en el mercado.

### 3. MARCO TEÓRICO

#### 3.1. Introducción a la energía solar en Ecuador

En Ecuador la capacidad de obtener energía eléctrica del sol transita muy lento, convirtiéndola en una fuente que requiere de investigación, separándola de la incipiente participación que hoy en día tiene en los sistemas aislados de la red.

En nuestro país existen unas 22 concesiones privadas que generan con sistemas fotovoltaicos aportando unos 33.3 GWh de energía al país. Para medir la radiación solar se utiliza las unidades  $W/m^2$  y en el Ecuador la radiación solar está cerca de 3 kWh/m<sup>2</sup>/día. [1]

Los rayos solares se transforman en energía eléctrica mediante los sistemas fotovoltaicos, la energía captada puede ser usada directamente o se la almacena en baterías para ser consumida en la ausencia de luz natural o en el momento que se la requiera.

Los sistemas fotovoltaicos aislados de la red eléctrica tienen los siguientes componentes para poder suministrar energía a 110 V en corriente alterna, los paneles solares, un regulador de voltaje, las baterías que sirven de acumuladores de energía y un inversor de voltaje que dependiendo de la conexión de los paneles serán de 24 o 12 V, entre otros componentes básicos como el cable para las conexiones.

Generar energía eléctrica mediante Sistemas Fotovoltaicos es mucho más barato que generar con cualquier tipo de combustible ya que no requiere de mantenimiento frecuente, se utilizan estos sistemas o son más populares en los sectores aislados de una red convencional o donde se requiera de energía sin interrupciones.

La eficiencia de conversión de los paneles solares depende de la tecnología principalmente, pero también de otros factores como la temperatura que pueden llegar a tener al momento de ser usados, por lo que pueden alcanzar una eficiencia entre el 25 % hasta un 40 %, hoy en día se habla de que la nanotecnología logra un porcentaje de más del 45 % lo que implica que llegará a ser la tecnología que será usada en el futuro ya que las investigaciones se centran en bajos costos y mayor confiabilidad.[2]

Según el Balance Nacional de Energía del año 2018, la oferta de energía eléctrica, constituye:

**Tabla 3.1. Balance Nacional de Energía enero 2018**

1. Potencia Nominal en Generación de Energía Eléctrica		MW	%
<b>Energía Renovable</b>	Hidráulica	4.515,96	56,19%
	Eólica	21,15	0,26%
	Fotovoltaica	26,48	0,33%
	Biomasa	144,30	1,80%
	Biogás	7,26	0,09%
<b>Total Energía Renovable</b>		<b>4.715,15</b>	<b>58,67%</b>
<b>No Renovable</b>	Térmica MCI	1.937,48	24,11%
	Térmica Turbo gas	921,85	11,47%
	Térmica Turbo vapor	461,87	5,75%
<b>Total Energía No Renovable</b>		<b>3.321,19</b>	<b>41,33%</b>
<b>Total Potencia Nominal</b>		<b>8.036,34</b>	<b>100,00%</b>

Fuente: [3]

### 3.2. Programa cero viviendas sin luz

La Empresa Eléctrica Quito (EEQ) ejecuta el programa “Cero Viviendas Sin Luz” para aquellas viviendas alejadas de la red eléctrica o con baja demanda, mediante sistemas fotovoltaicos que permiten superar el porcentaje de cobertura que hoy en día se encuentra en el 99,4 %, para la ejecución de este programa se cuenta varias etapas, la primera de ellas tiene un objetivo de instalar 180 kits solares en viviendas ubicadas en los cantones Cayambe, El Chaco, Mejía, Pedro Vicente Maldonado, Puerto Quito, Quijos, Quito, Rumiñahui y San Miguel de los Bancos.[4]

El kit solar que se instala en las viviendas consta de varios elementos entre ellos están 3 paneles solares fotovoltaicos de silicio monocristalino de 130 W pico, 2 baterías selladas libre mantenimiento (tipo AGM) de 6 V y 300 Ah cada una, un controlador de carga de 30 A, un inversor de 1000 W, una lámpara portátil, 6 lámparas LED de corriente continua.

El kit solar una vez instalado en la vivienda permitirá a las familias contar con energía eléctrica para el funcionamiento de una radio, un equipo de sonido, televisión, 4 lámparas LED de iluminación interior, 2 lámparas LED para iluminación exterior, 1 lámpara móvil y un sistema de recarga de celulares, en el kit viene implementado un sistema prepago de servicio de energía eléctrica mediante una memoria portátil en esta viene recargada para 60 días y luego el usuario puede recargar desde 10 hasta 999 días en cualquier punto de recaudación de la EEQ. [5]



**Figura 3.1.** Programa “Cero Viviendas sin luz”

**Fuente:** [5]

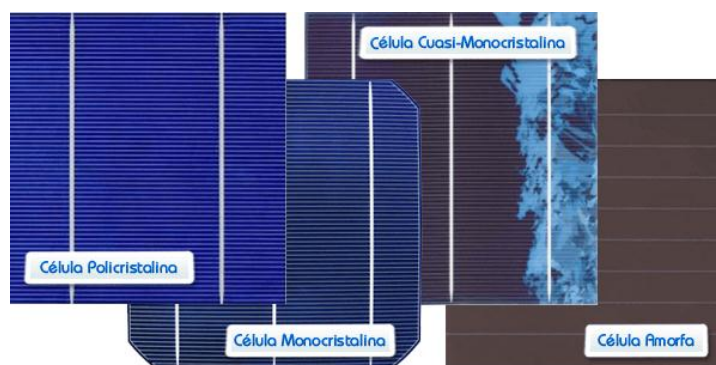
### 3.3. Sistemas fotovoltaicos aislados de la red eléctrica

Son sistemas que cumplen con el propósito de generar energía eléctrica, mediante un panel fotovoltaico, para proveer del servicio a los lugares donde implica costos muy elevados para extender la red pública, en estas zonas el implementar un sistema solar es la solución más económica y razonable. Para conseguir un sistema óptimo se debe considerar la potencia de conexión necesaria, el consumo de energía, el tipo de consumidores, el periodo de uso y las restricciones meteorológicas además de los ámbitos culturales, sociales, económicos y financieros. [6]

#### 3.3.1. Componentes de un sistema aislado

Los sistemas aislados cuentan con varios componentes, entre ellos tenemos:

**Los paneles fotovoltaicos:** son la parte fundamental para la generación de energía eléctrica, existen varios tipos entre ellos el panel solar monocristalino, policristalino y amorfo.



**Figura 3.2.** Tipos de paneles fotovoltaicos

**Fuente:** [7]

**Regulador de carga:** es el encargado de proteger la vida útil de las baterías ya que controla la cantidad de energía que proviene de los paneles solares.

**Inversor de corriente:** es un equipo que transforma la corriente continua que proviene de las baterías a corriente alterna, para el uso de aparatos domésticos.

**Baterías de descarga profunda:** son las encargadas de acumular la energía, para poder usarla cuando se la necesite. [8]



**Figura 3.3.** Componentes de un sistema fotovoltaico aislado  
**Fuente:** [9]

### 3.4. Consumo de energía por día

Necesitamos conocer la potencia de cada equipo que se vaya a conectar y el tiempo de uso en horas diarias, mediante el cual, se proyecta dimensionar el sistema experimental fotovoltaico. En la Tabla 3.2. se detalla las potencias de cada una de los equipos que se podrían tener en el módulo experimental fotovoltaico.[10]

**Tabla 3.2. Consumo energético diario para el modulo experimental**

Equipo	No. de equipos	Potencia (W)	Uso diario (h/día)	Consumo diario (Wh/día)
Foco LED	1	7	1	7
Foco fluorescente	1	20	1	20
Foco incandescente	1	100	1	100
Computador	1	90	1	90
Cargador de taladro	1	30	1	30
Radio	1	12	1	12
Televisión	1	70	1	70
Iluminación	2	72	2	288
Autoconsumo inversor	1	10	1	10
Otros	1	200	1	200
<b>TOTAL</b>				<b>827</b>

El máximo consumo diario para es de 827 Wh/día para realizar hasta cuatro practicas diarias de 15 minutos. (Anexo IV)

### 3.5. Consumo real o efectivo (Wh)

Para este caso se debe considerar las pérdidas que se darán con el uso del módulo fotovoltaico para esto se considerará la siguiente formula.

$$E = \frac{E_t}{R} \quad (3.1)$$

**E:** Energía real consumida (Wh).

**ET:** Energía total consumida al día (Wh/día).

**R:** Rendimiento global de la instalación. (adimensional)

El rendimiento global de la instalación debe ser calculado con la siguiente ecuación.

$$R = (1 - K_b - K_c - K_v) \left(1 - \frac{K_a}{P_d} * N\right) \quad (3.2)$$

Donde:

**Kb:** Coeficiente de pérdidas por rendimiento de las baterías. (adimensional)

**Kc:** Coeficiente de pérdidas en el inversor. (adimensional)

**Kv:** Coeficiente de pérdidas varias. (adimensional)

**Ka:** Coeficiente de autodescarga diaria. (adimensional)

**Pd:** Profundidad de descarga diaria de la batería. (%)

**N:** Número de días de autonomía de la instalación. (días) [11]

Por lo tanto, para la Ecuación 3.2. se tendrá el siguiente resultado:

$$R = (1 - 0.05 - 0.05 - 0.05) \left( 1 - \frac{0.005}{0.5} * 1 \right) = 0.8415$$

Para la Ecuación 3.1. el resultado será el siguiente:

$$E = \frac{827Wh}{0.8415} = 982.768 (Wh)$$

### 3.6. Capacidad de almacenamiento

Para tener autonomía y lograr utilizar el sistema en los momentos donde no hay presencia de luz solar, se requiere de baterías que almacenen la suficiente energía para abastecer la demanda.

Para este cálculo utilizaremos la siguiente ecuación:

$$C = \frac{E*N}{V*P_d} \quad (3.3)$$

Donde:

**C:** Capacidad del banco de baterías (Ah).

**E:** Energía real consumida (Wh).

**N:** Número de días de autonomía de la instalación (días).

**V:** Voltaje del sistema (V).

**Pd:** Profundidad de descarga diaria de la batería (%).[11]

$$C = \frac{982.768 * 1}{24 * 0.5} = 81.89 Ah$$

### 3.7. Número de paneles solares

Ya que los paneles recibirán luz artificial de reflectores con luz alógena se tomará los datos que nos presenta la Tabla 5.1. que son los datos registrados por el piranómetro en los paneles solares con luz alógena, en este caso se tomará el mejor resultado que es de  $677 \text{ W/m}^2$ , por otro lado, el panel policristalino llegan a una máxima eficiencia de captación de energía del 20 % lo que nos daría como resultado un valor de  $135.4 \text{ W/m}^2$  y esto multiplicado por las 24 h del día nos dará como resultado  $3249,6 \text{ Wh/m}^2$  este valor nos permitirá conocer las horas pico solar (HSP); necesario para calcular el número de paneles solares.

$$HSP = \frac{I_p}{1000 \text{ W/m}^2} \quad (3.4)$$

Donde:

**HSP:** Hora solar pico (h).

**Ip:** Irradiación solar promedio ( $\text{Wh/m}^2$ )

Teniendo como resultado lo siguiente:

$$HSP = \frac{3249.6 \text{ Wh/m}^2}{1000 \text{ W/m}^2} = 3.2496h$$

Para obtener la potencia del módulo fotovoltaico utilizaremos la siguiente expresión.

$$P_{mod} = 1.25 * \frac{E}{HSP} \quad (3.5)$$

Donde:

**Pmod:** Potencia pico del módulo fotovoltaico (Wp)

Teniendo así:

$$P_{pmod} = 1.25 * \frac{982.768 \text{ Wh}}{3.2496 \text{ h}} = 378.03 \text{ W}_p$$

Para obtener el número de paneles se usará la ecuación siguiente:

$$Np = \frac{P_{pmod}}{0.9 * P_{max} * HSP} \quad (3.6)$$

Donde:

**N<sub>p</sub>**: Número de paneles (unidad)

**P<sub>pmod</sub>**: Potencia pico del módulo fotovoltaico (Wp)

**P<sub>max</sub>**: Potencia máxima entregada por el panel solar

**HSP**: Hora solar pico (h).

El resultado a esta ecuación es:

$$N_p = \frac{378.03 \text{ W}}{0.9 * 50 \text{ W} * 3.2496 \text{ h}} = 2.58 \approx 3 \text{ paneles solares}$$

Para una mejor aplicación se utilizará 4 paneles solares de 50 W, para realizar distintas prácticas de laboratorio en serie y en paralelo.

### 3.8. Controlador de carga

El regulador de carga es necesario para el control de carga y descarga de las baterías, alargando así la vida útil de las mismas.

Con la siguiente ecuación se puede obtener la corriente máxima del regulador de carga:

$$I_{m\acute{a}x} = I_{sc} * N_p \quad (3.7)$$

Donde:

**I<sub>máx</sub>**: es la corriente máxima del regulador de carga (A)

**I<sub>sc</sub>**: Es la corriente de corto circuito del panel fotovoltaico

**N<sub>p</sub>**: Número de paneles solares

Por lo tanto:

$$I_{m\acute{a}x} = 3.12 * 4 = 12.48 \text{ A}$$

En este caso se utilizará un controlador de carga de 30 A ya que también se podrá conectar los paneles monocristalinos exteriores al laboratorio.[12]

### 3.9. Módulos de entrenamiento y práctica de energía fotovoltaica

#### 3.9.1. Diseño e implementación de un laboratorio de energía fotovoltaica para ITCA-FEPADE Centro Regional San Miguel

En la Escuela Especializada en Ingeniería ITCA-FEPADE Regional San Miguel se acredita el título de Ingeniería Eléctrica y en la cual se imparte la materia de energías renovables, El Salvador no se queda atrás e incursiona en el desarrollo de energías alternativas por lo cual ha desarrollado un laboratorio con tableros para prácticas en sistemas fotovoltaicos para el progreso de las viviendas rurales y el desarrollo de profesional de los estudiantes.

Las ventajas de este laboratorio es el espacio físico que tiene la Escuela y la cantidad de tableros para realización de prácticas por estudiante.

Las desventajas de este laboratorio es que cada tablero solo cuenta con pocas cargas y no cuenta con un análisis de parámetros eléctricos ni de un medidor de energía consumida.[13]



**Figura 3.4.** Laboratorio energías renovables de la ITCA-FEPADE

**Fuente:** [13]

#### 3.10. Tablero de mesa energía solar fotovoltaica inicial

Estos tableros ayudan con la enseñanza sobre la teoría y la práctica de las energías fotovoltaicas, cuentan con el privilegio de hacer conexiones y experimentar para comprensión de los equipos en el uso real para una empresa o el sitio donde se requiera de una instalación fotovoltaica, es capaz de trazar la curva característica modificando sus valores en las variables eléctricas conociendo así el comportamiento que tendría el equipo en condiciones diferente.[14]

Las ventajas de este tablero es la capacidad que tiene para cambiar sus variables eléctricas y así conocer el comportamiento que tendría el equipo fotovoltaico.

Las desventajas es que es un equipo inicial y no puede tener la conexión de ninguna carga tampoco cuenta con un banco de baterías para la acumulación de energía.



**Figura 3.5.** Tablero de mesa inicial marca INSUR Modelo SOL 12 TM4  
**Fuente:** [14]

### 3.11. Tablero de mesa energía solar fotovoltaica intermedio

Este tablero al igual que su antecesor esta creado con el fin de garantizar a los estudiantes el aprendizaje de las instalaciones fotovoltaicas, pero con una gran diferencia que este ya permite la conexión de circuitos con los elementos de protección además de dispositivos acumuladores y nos entrega el consumo de energía eléctrica ampliando las aplicaciones que podrían darse en una instalación real.[15]

Las ventajas de este equipo es el armado de circuitos con sus protecciones, los dispositivos acumuladores y el consumo de energía eléctrica que se aplican siempre en una instalación real.

Las desventajas de este equipo es la falta de conexión a cargas reales para su análisis de consumo eléctrico que permitiría realizar cálculos exactos para el numero de baterías y de paneles solares en una instalación real.



**Figura 3.6.** Tablero de mesa intermedio marca INSUR Modelo SOL 13 TM8  
**Fuente:**[15]

### 3.12. Tablero didáctico fotovoltaico para el laboratorio de electricidad de la Universidad Técnica del Norte

Este tablero es construido para la práctica de los estudiantes de electricidad de la Universidad Técnica del Norte completamente equipado con los elementos de protección, medición y compuesto de un panel de 75W, un regulador de 20 A, un acumulador de 105Ah y un inversor de 350 W, además de los componentes necesarios para conectar cargas en dos tomacorriente y boquillas, el marco es metálico con pintura electrostática revestida al horno favoreciendo al medio ambiente y el aprendizaje de sus estudiantes.[16]

Las ventajas de este tablero didáctico es su marco metálico con pintura electrostática revestida al horno lo que brinda protección y seguridad, además de sus componentes de protección y el botón de pánico.

Las desventajas es que no cuenta con elementos de medición incluidos, sino que deben utilizarse el voltímetro y amperímetro para el registro de datos y toma de medidas.



**Figura 3.7.** Tablero didáctico fotovoltaico Universidad Técnica del Norte  
**Fuente:** [16]

## 4. METODOLOGÍA

### 4.1. Métodos

#### 4.1.1. La observación

El elemento fundamental para llegar al método de encuesta fue estar alerta de las necesidades del laboratorio y de la carrera, buscando un mejor desempeño en los futuros profesionales en el campo laboral, ampliando la oportunidad de conseguir un empleo y fomentando las energías alternativas en nuestra región.

#### **4.1.2. La encuesta**

Mediante la recolección de la opinión de los estudiantes, así como de los profesores de energías alternativas y afines, se llega a la decisión de implementar un módulo experimental que sea de ayuda para el análisis de parámetros eléctricos en sistemas fotovoltaicos ayudando a la enseñanza y el aprendizaje de cada uno de los involucrados en la carrera de ingeniería eléctrica.

#### **4.1.3. Investigación descriptiva**

Con la realización del plano a escala y la disposición de los elementos a incorporar en el proyecto, se toman decisiones para lograr proponer un prototipo del módulo experimental para el análisis de parámetros eléctricos, logrando fomentar una idea clara para resolver la deficiencia en equipos para el laboratorio de energías alternativas de la carrera.

#### **4.1.4. Método inductivo**

A partir de las soluciones realizadas por los docentes y postulantes se llega a la conclusión de que se requiere de un análisis en los parámetros fundamentales de cualquier circuito eléctrico, como es el voltaje, la corriente, el factor de potencia, y las potencias activa, reactiva y aparente que permitirán realizar cualquier estudio en el consumo de energía eléctrica.

#### **4.1.5. Método cuantitativo**

Siendo objetivos en los planes a realizar se emplea un inventario tomando las mejores decisiones económicas y técnicas en la construcción del módulo experimental fotovoltaico, cubriendo las necesidades fundamentales y específicas en el funcionamiento del proyecto.

### **4.2. Instrumentos**

#### **4.2.1. Registro anecdótico**

Se toma en consideración los datos que nos aportan los docentes con sus años de experiencia y su participación directa que tienen con los estudiantes en los laboratorios, sus descripciones ayudan a conocer los hechos y también las deficiencias que tiene el área de energías alternativas.

#### **4.2.2. El cuestionario**

El grupo de preguntas realizadas a los estudiantes y docentes de la Carrera de Ingeniería Eléctrica ayudan con la recolección de datos para verificar la necesidad de un sistema fotovoltaico para prácticas en el laboratorio de energías alternativas que permita el monitoreo

de los parámetros eléctricos para su análisis en las cargas típicas de una vivienda aislada de la red. (Anexo I)

#### 4.2.3. La medición

Para la calibración y veracidad de los datos entregados por el monitoreo de parámetros eléctricos será necesario varios instrumentos de medición entre ellos:

#### 4.2.4. Piranómetro

Es un instrumento meteorológico que se ha utilizado para conocer la radiación incidente en el panel solar [17], mediante un reflector de luz alógena de 500W que simula la luz solar, estos datos se los toma en diferentes ángulos en varios puntos del panel solar y conocer si realmente cumple con valores cercanos a la luz solar.



**Figura 4.1.** Medición de radiación incidente sobre el panel solar

#### 4.2.5. Osciloscopio

Es utilizado para conocer si la señal de entrada y salida del monitoreo de parámetros eléctricos es correcta y no ha sido alterada en el proceso de censado.

#### 4.2.6. Analizador de carga FLUKE 1735

El registrador de potencia Fluke 1735 Power Logger Analyst es la herramienta ideal del electricista o técnico para realizar estudios de energía y registros básicos de calidad de la potencia. [18], Este equipo fue utilizado como base para la calibración de valores a los parámetros eléctricos proyectados en el módulo experimental.



**Figura 4.2.** Analizador de red Fluke 1735

#### 4.2.7. AMPROBE ADC-41PQ TRU RMS

Pinza amperimétrica de medición de potencia monofásica, de 45mm de diámetro, mide hasta 1,000A AC; display LCD [19], este equipo fue usado en medición y comparación de corriente y voltaje siendo utilizado como referencia a los valores obtenidos del módulo.



Figura 4.3. Pinza amperométrica TRU RMS

#### 4.2.8. Multímetro FLUKE 117 TRU RMS

Utilizado en la medición de corriente y de voltaje para encontrar un porcentaje de eficiencia en la tabla 5.1 y 5.2

Características principales:

Baja impedancia de entrada: ayuda a evitar las lecturas falsas producidas por voltaje fantasma

Valor eficaz verdadero para mediciones precisas en cargas no lineales

Mide 10 A (sobrecarga de 20 A durante 30 segundos)

Registro de valores mínimos, máximos y promedio con indicación del tiempo transcurrido para detectar fluctuaciones de la señal.[20]



Figura 4.4. Multímetro FLUKE 117

### 4.3. El software

#### 4.3.1. Raspbian

Derivado de la distribución de GNU/Linux nombrada Debian, es el sistema operativo ideal para el hardware de Raspberry Pi.[21]

#### 4.3.2. Arduino

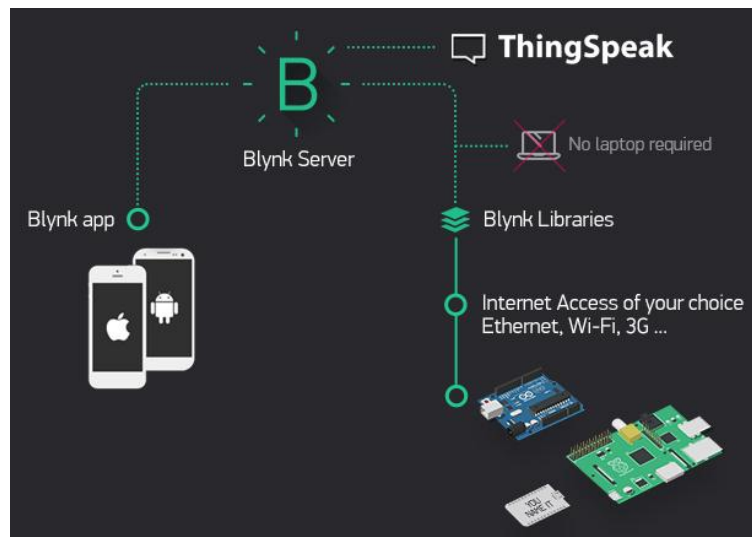
Es un software libre utilizado para programar la placa Arduino Mega 2560 y recibir los datos de los sensores de voltaje y corriente. (Anexo II)

#### 4.3.3. Python

Es un lenguaje de programación que posee licencia de código abierto[22] y es usado para programar la recepción de datos de manera serial para el cálculo de potencias y mostrarlas en una pantalla mediante una página web. (Anexo III)

#### 4.3.4. ThingSpeak

ThingSpeak es una aplicación de Internet para proyectos de código abierto (IoT) y API para almacenar y recuperar datos de cosas usando el protocolo HTTP a través de Internet, ha permitido la creación de una aplicación de registro de los sensores de voltaje y corriente para mostrar los parámetros eléctricos en forma gráfica y de querer también descargarla en una tabla de Excel. [23]

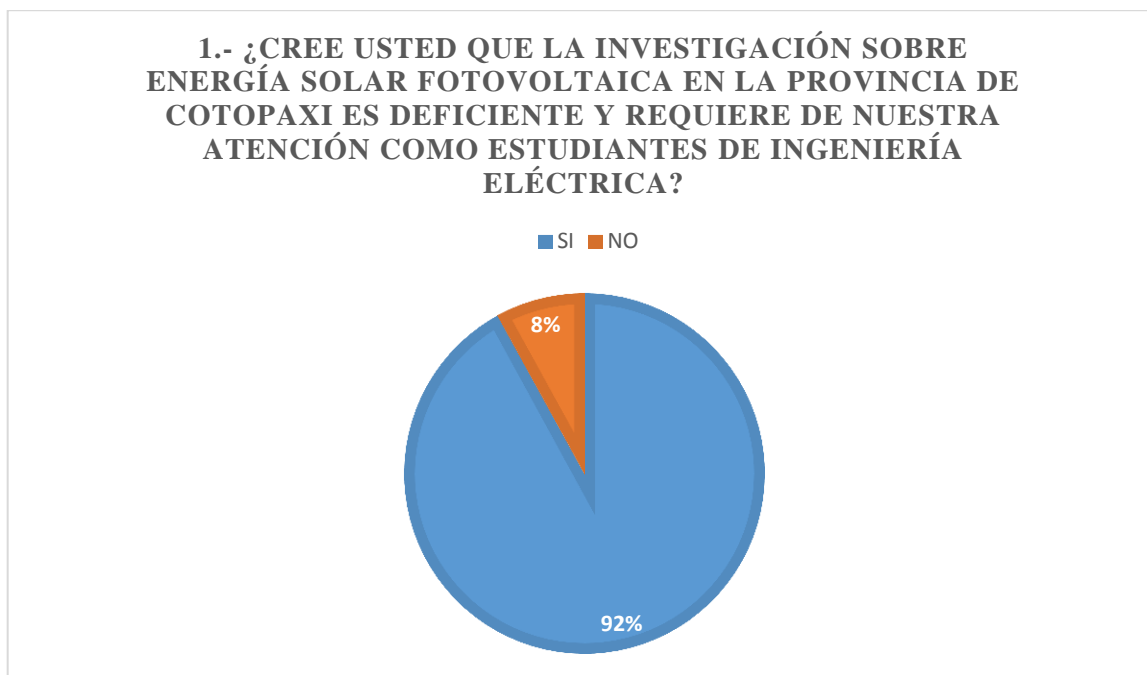


**Figura 4.5.** ThingSpeak, almacenamiento, recuperación, procesamiento y visualización de datos  
Fuente: [24]

## 5. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

### 5.1. Encuesta realizada a los estudiantes

De una muestra de 40 alumnos que actualmente reciben la materia de energías alternativas en la Universidad Técnica de Cotopaxi se les consulta 5 preguntas sobre la necesidad de contar con un módulo solar fotovoltaico que permita el monitoreo de las variables eléctricas.



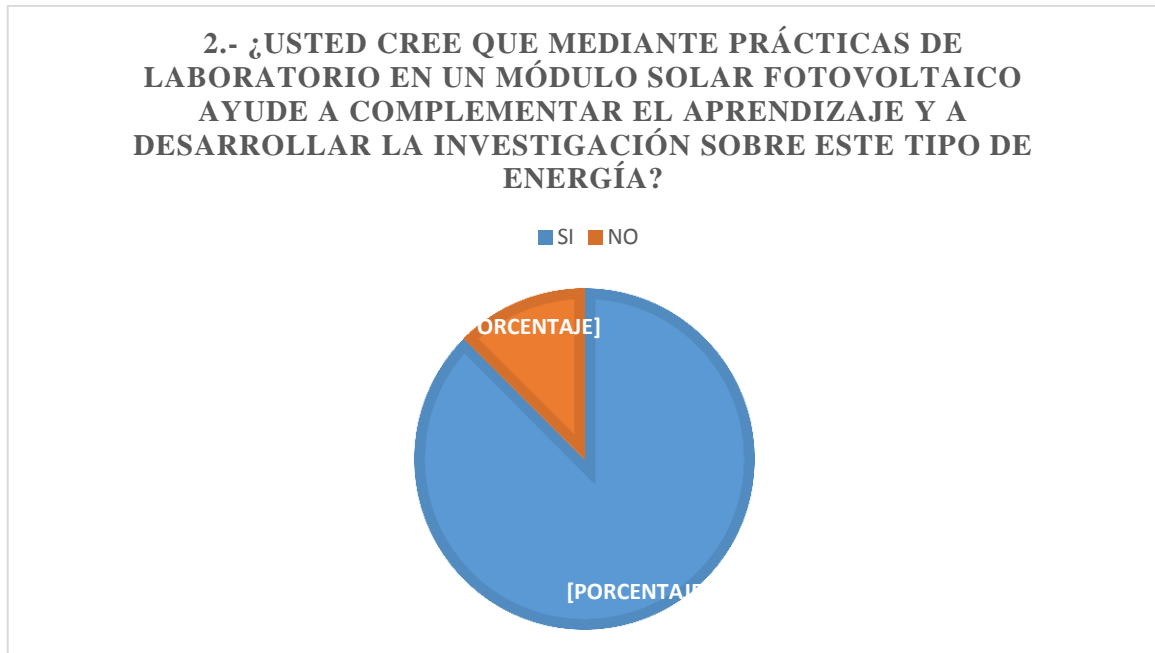
**Figura 5.1.** Resultado a la pregunta 1 de encuesta realizada a los estudiantes de Ingeniería Eléctrica

Esta pregunta responde a conocer si hace falta o no, investigación sobre la energía solar fotovoltaica en la provincia.

Con el fin de conocer si los estudiantes están dispuestos o no, a cubrir las necesidades o deficiencias que puedan existir.

El conocer el resultado de esta pregunta nos conduce a saber si el problema es objeto de estudio y si se solucionará, existiese el personal para trabajar en el área e impulsar el uso de las energías alternativas en la región y el país.

En la pregunta número 1 los estudiantes responden en un 92% afirmativamente, lo que es un resultado que impulsa a seguir con la investigación sobre la energía solar y el desarrollo que puede alcanzar la Universidad Técnica de Cotopaxi en la región.



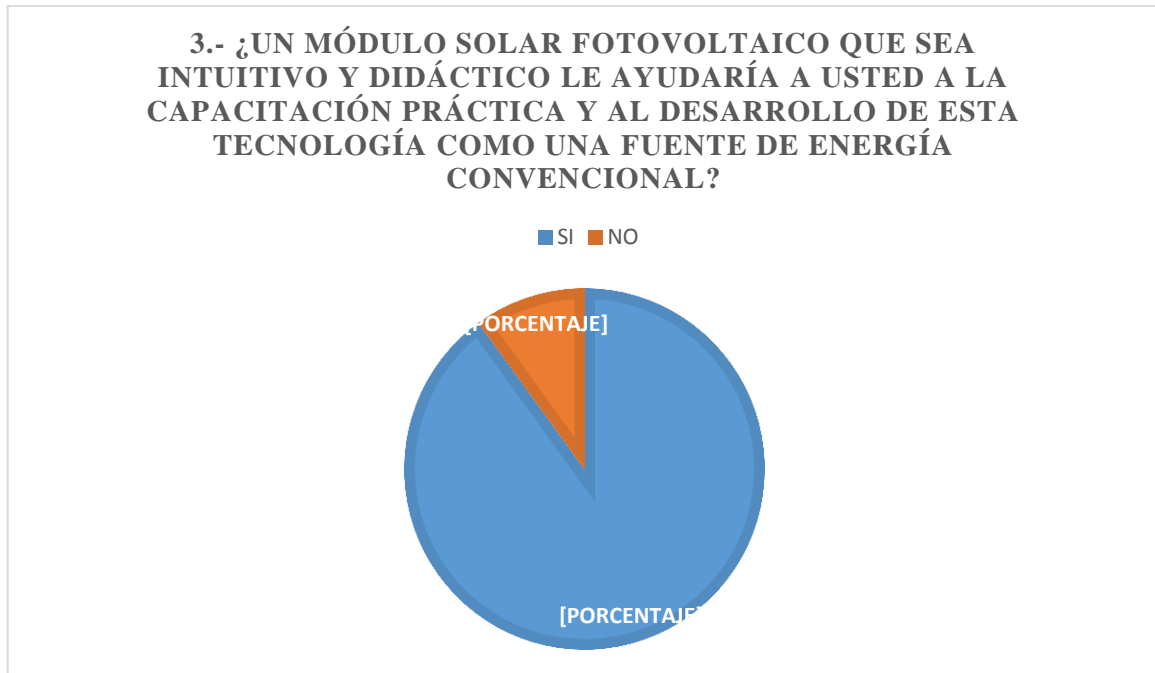
**Figura 5.2.** Resultado a la pregunta 2 de encuesta realizada a los estudiantes de Ingeniería Eléctrica

Esta pregunta sirve para saber si las prácticas de laboratorio impulsaran a fomentar el uso de la energía solar fotovoltaica, la investigación, así como la aplicación de este tipo de energía alternativa.

Con la finalidad de saber si se aumentare las horas prácticas, desarrollaría habilidades técnicas para montar sistemas independientes de la red eléctrica, fomentando que se habrán nuevos sitios de investigación y puestos de trabajo.

En un 87% los consultados responden de manera afirmativa a la pregunta número 2 lo que asegura que el laboratorio requiere de un módulo que permita realizar prácticas que accedan manipular los sistemas fotovoltaicos.

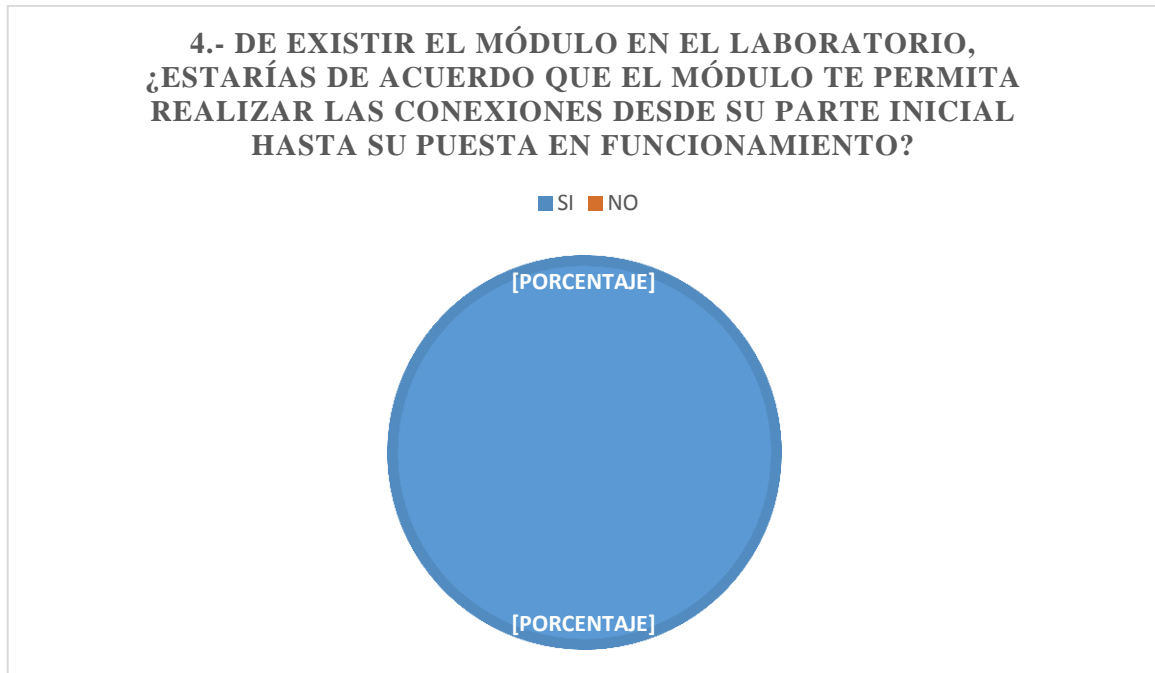
El hecho de que más del 50 % de las personas encuestadas responda positivamente a la pregunta da a notar que hace falta la práctica para que los estudiantes muestren más interés por la investigación, que la parte técnica es fundamental para el desarrollo de los sistemas fotovoltaicos en la región, manipular los aparatos y equipos fotovoltaicos despierta el interés para desplegar en la exploración y la aplicación en el área de estudio.



**Figura 5.3.** Resultado a la pregunta 3 de encuesta realizada a los estudiantes de Ingeniería Eléctrica

El módulo desde su primera aplicación debe ser intuitivo para que no exista errores en las conexiones, que estén ordenados sus implementos en el tablero logrando que sea sencillo el esquema mental que el estudiante realiza cuando por primera vez conoce un nuevo equipo es fundamental con la intención de ayudarlo a distinguir y analizar los componentes y su manejo desde su primera experiencia con el mismo, además de ser didáctico para que el módulo sirva en varias ocasiones y prácticas de laboratorio, logrando ser un equipo totalmente aprovechable en la carrera del Ingeniero en Electricidad desde sus inicios en la Universidad hasta sus últimos ciclos.

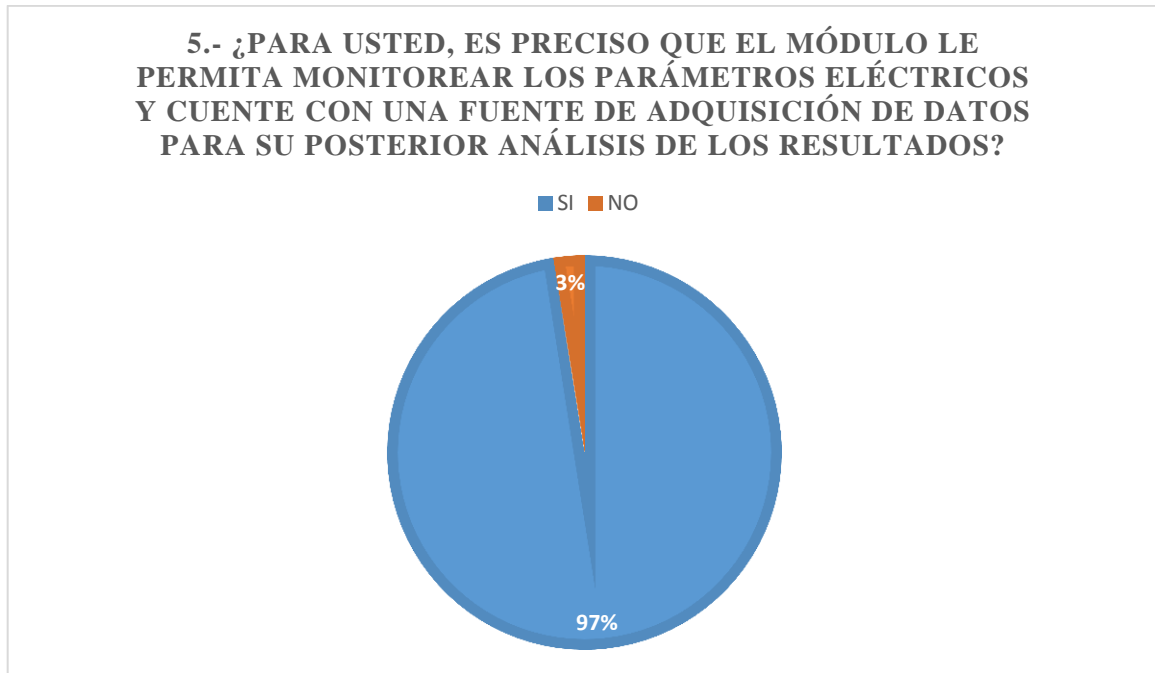
El 90% de los consultados cree que es necesario que exista un módulo que sea intuitivo, didáctico y que ayude en la capacitación práctica, desarrolle su actividad profesional, amplíe su manejo en este tipo de tecnología y porque no, despierte su capacidad investigativa para que en un futuro el país desarrolle para sí, su propia tecnología fotovoltaica o nueva tecnología en el área de las energías alternativas, por lo que afirma que deba diseñarse y construirse un módulo experimental fotovoltaico con estas características para que la Universidad Técnica de Cotopaxi sea pionera en este perfeccionamiento de este tipo de profesionales en el país.



**Figura 5.4.** Resultado a la pregunta 4 de encuesta realizada a los estudiantes de Ingeniería Eléctrica

Poder realizar las conexiones desde su parte inicial hasta su puesta en funcionamiento dará habilidades para que el estudiante se encuentre seguro de sí mismo, fortaleciendo la capacidad práctica el estudiante, se abrirá nuevas plazas de trabajo, fomentando la energía limpia y renovable, ayudando al medio ambiente, implementando esta tecnología en la región provocará que otros la activen en las demás regiones del país, así que es una ilusión para los estudiantes, docentes y la Universidad en general poder tener un módulo experimental fotovoltaico que ayude en las prácticas y en el análisis de los sistemas solares fotovoltaicos.

En la pregunta número 4 el 100% de las personas preguntadas afirman que el módulo debe tener la característica de realizar conexiones para la puesta en marcha del sistema, ya que el estudiante tiene los deseos de manipular los equipos, conocerlos y ponerlos a trabajar en distintas configuraciones serie y paralelo para corroborar lo aprendido y calculado en clases, fortaleciendo así su aprendizaje.



**Figura 5.5.** Resultado a la pregunta 5 de encuesta realizada a los estudiantes de Ingeniería Eléctrica

El monitoreo de las variables eléctricas como son la potencia activa, potencia aparente, potencia reactiva, el factor de potencia del mismo modo que el voltaje y la corriente permitirán a los estudiantes conocer y analizar el comportamiento de los sistemas solares fotovoltaicos adicionalmente también el comportamiento de cada una de las cargas conectadas, los estudiantes despejarán sus dudas respecto al funcionamiento y manejo de los equipos.

En la pregunta final el 97% de las personas encuestadas afirman que el modulo debe tener un sistema de monitoreo de parámetros eléctricos y una fuente para descarga de datos, que el docente y el estudiante logren obtener del equipo los datos monitoreados en la práctica de laboratorio, ayudará a un posterior análisis de los resultados, para conocer de cuanta potencia requeriría, si un sistema fuera instalado con la misma cantidad de cargas conectadas o con una potencia semejante dándole un criterio para su formación académica en el área técnica y experiencia en el área profesional, afirmando su actividad laboral en fuentes de energía convencionales y no convencionales, logrando cubrir las deficiencias del laboratorio, de los estudiantes y docentes de la carrera.

## 5.2. Encuesta realizada a los docentes

De una muestra de 5 docentes que actualmente están impartiendo la docencia en energías alternativas o imparten materias vinculadas a la generación de energía eléctrica.



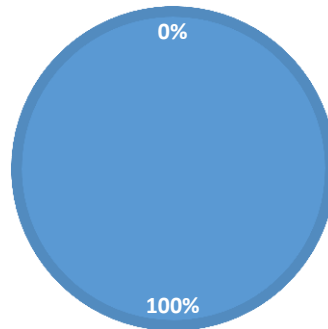
**Figura 5.6.** Resultado a la pregunta 1 de encuesta realizada a los docentes de Ingeniería Eléctrica



**Figura 5.7.** Resultado a la pregunta 2 de encuesta realizada a los docentes de Ingeniería Eléctrica

**3. UNA LAS CARACTERÍSTICAS DEL MÓDULO FOTOVOLTAICO ES LA LUZ ARTIFICIAL LA CUAL PERMITE SIMULAR LA LUZ NATURAL. POR LO TANTO, EL MÓDULO DEBE:**

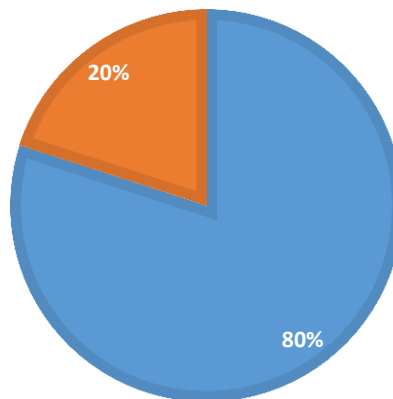
- Mantener estática la luz con respecto a los paneles solares, para una mayor captación de energía
- Incluir un mecanismo que permita obtener distintos ángulos de luz con respecto a los paneles solares, para un mejor análisis en los datos obtenidos.



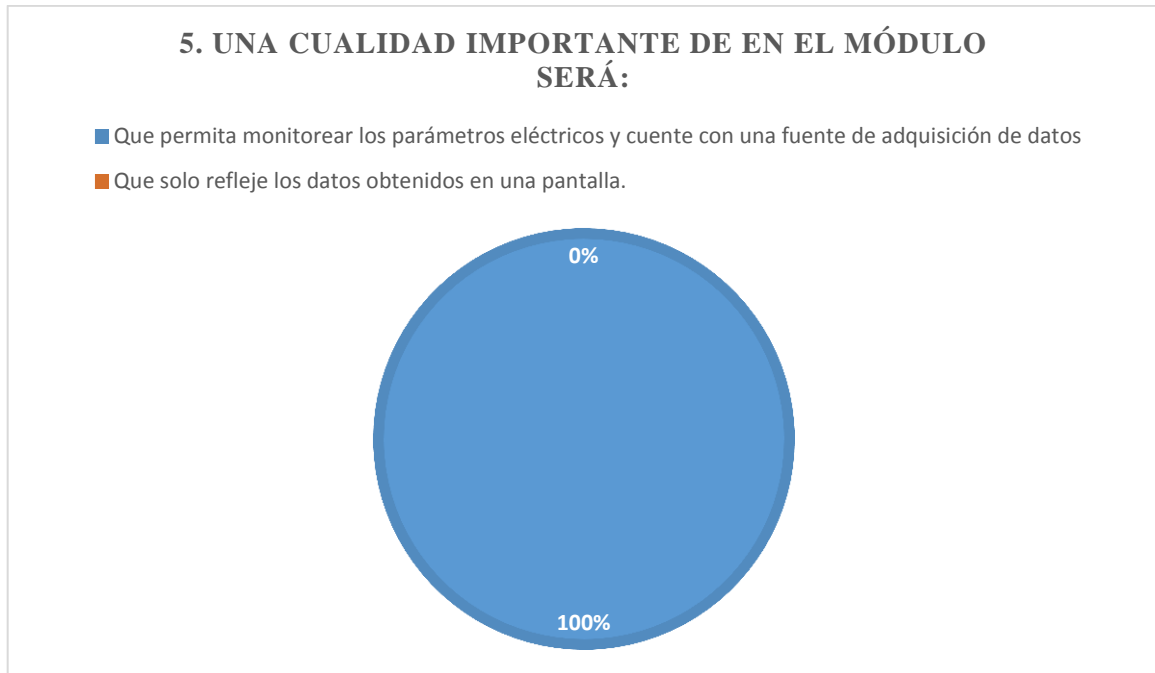
**Figura 5.8.** Resultado a la pregunta 3 de encuesta realizada a los docentes de Ingeniería Eléctrica

**4. ENTRE SUS CARACTERÍSTICAS EL MÓDULO DEBE ALIMENTAR CARGAS:**

- Exclusivamente en corriente alterna, ya que son las que se utilizan en los hogares
- Deben alternarse entre corriente alterna y continua, ya que el estudiante utilizará las dos en su vida laboral.



**Figura 5.9.** Resultado a la pregunta 4 de encuesta realizada a los docentes de Ingeniería Eléctrica



**Figura 5.10.** Resultado a la pregunta 5 de encuesta realizada a los docentes de Ingeniería Eléctrica

### 5.3. Resultados de la encuesta a docentes

El 100% de los docentes cree que la mejor alternativa para mejorar el aprendizaje de los estudiantes es mediante un módulo para prácticas en los laboratorios, sabe que, para el estudiante, lo mejor resulta que el mismo logre las conexiones para la puesta en funcionamiento del sistema, que posea de un sistema que permita cambiar los ángulos de inclinación para la luz artificial que simule la luz solar y todos concuerdan que el sistema fotovoltaico debe tener un monitoreo de parámetros eléctricos para su posterior análisis y comportamiento de las cargas.

En un 80% de los docentes coincide que el módulo debe contener tanto cargas en corriente continua como en alterna para que el estudiante conozca las utilidades del controlador de carga de las baterías

### 5.4. Equipos a utilizarse para la realización del módulo experimental fotovoltaico.

Tomando en cuenta todas respuestas y conociendo que casi todos los encuestados coinciden en la consulta se puede decir que el módulo experimental contendrá en su diseño:

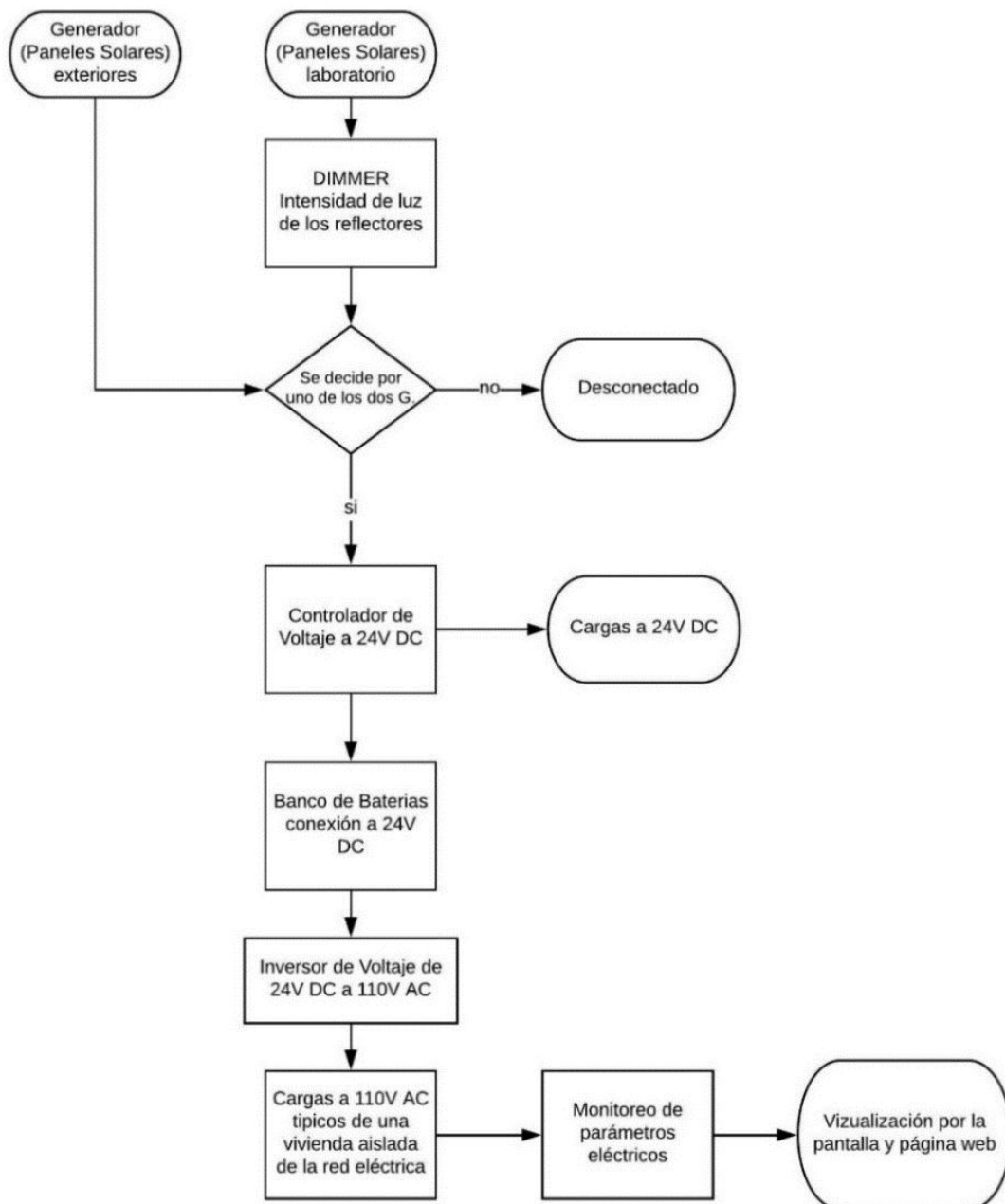
- 4 paneles solares poli cristalinos adaptados a la pared del laboratorio.
- 4 reflectores con luz alógena uno para cada panel logrando simular la luz solar dentro del laboratorio.

- Un mecanismo que permita girar los reflectores simulando la rotación solar.
- 4 DIMMER uno para cada reflector controlando así la intensidad de la luz de los reflectores.
- Un sistema de medición de voltaje y corriente DC para los paneles solares.
- Un controlador de voltaje para la carga de las baterías.
- 2 baterías para la carga de energía 100 Ah.
- Un inversor de voltaje para alimentar cargas en AC.
- Un monitoreo de parámetros eléctricos que nos permita verlos mediante una pantalla y descargarlos mediante un sistema de almacenamiento USB para su posterior análisis, además utilizaremos una página web que nos ayude con lo explicado anteriormente facilitando el monitoreo de las prácticas.
- Boquillas y tomacorrientes para analizar un sin fin de cargas que pueden ser conectadas a ellas.
- Diferentes cargas en DC para su funcionamiento mediante el controlador de voltaje.

Si bien es cierto que se empieza a trabajar con los materiales de dos proyectos anteriormente realizados para el laboratorio de energías renovables, uno de ellos en desuso y el otro con poco uso diario, de los cuales se obtiene dos paneles monocristalinos conectados en el exterior del laboratorio para la captación de luz solar, los cuales se los incluirá en la conexión de este, logrando así una carga más rápida de las baterías, un controlador de carga de 24 V DC, un inversor de 1500 W, dos baterías de 100 Ah y se usan dos paneles solares en inutilidad de otro proyecto, incorporándoles y reduciendo los costos de la lista de materiales antes descritos.

A continuación, se presenta el diagrama de bloques para el diseño del módulo experimental fotovoltaico, el cual tendrá en un inicio que decidirse por la conexión de los paneles solares exteriores o interiores, el primero para un análisis sobre la luz solar y el segundo para un análisis sobre la luz artificial de los reflectores logrando la visualización del voltaje en un pequeño voltímetro amperímetro digital verificando así el voltaje de 24 V apropiado para la conexión al controlador de carga, una vez realizada esta conexión el mismo controlador tendrá la conexión a 2 baterías las cuales se encuentran conectadas en serie ya que cada una tiene 12 V y 100 Ah, también el controlador permite desde sus terminales conectar unas pequeñas cargas en DC, el siguiente bloque corresponde a la conexión de las baterías con el inversor de 1500 W el cual permitirá conectar cargas en CA a 110 V por consiguiente al usar estas cargas se necesita de un equipo que analice la potencias activa, reactiva y aparente,

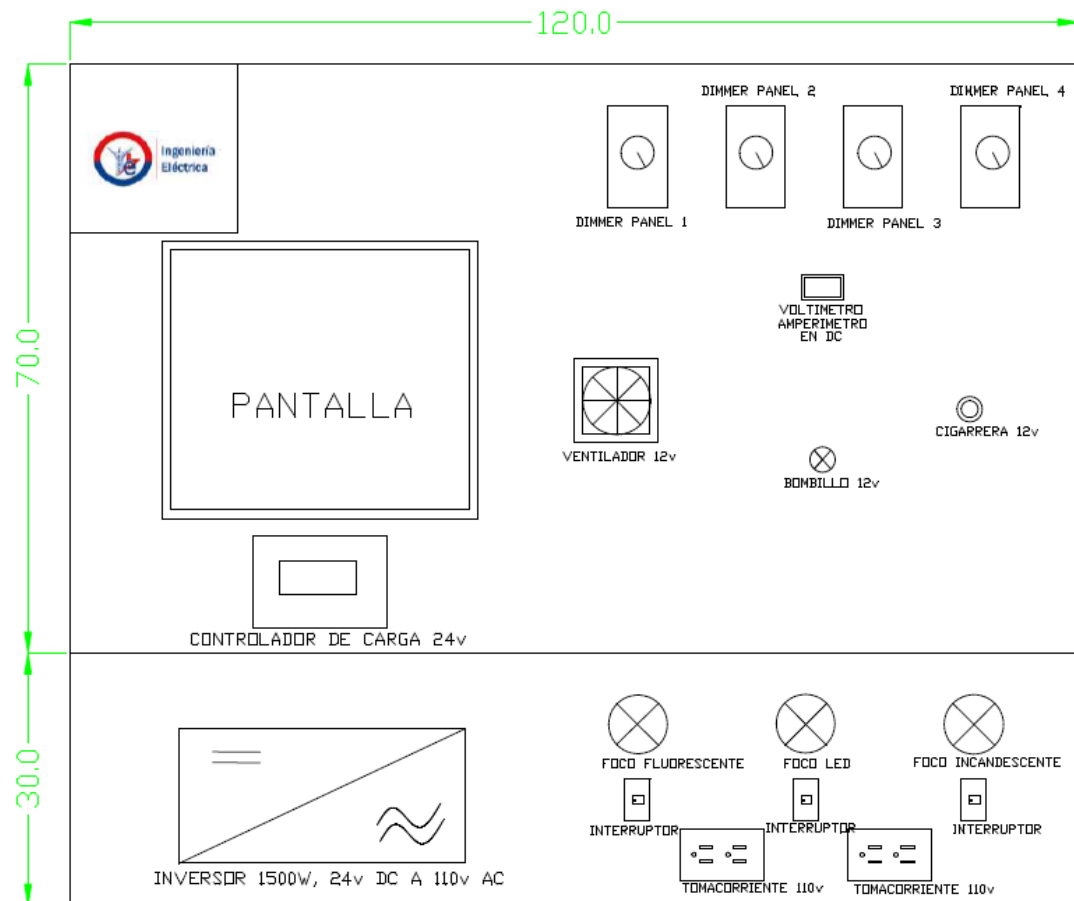
factor de potencia, el voltaje y corriente de los aparatos conectados al módulo además que los resultados sean mostrados en una pantalla acoplada al proyecto y mediante una página web que permita la visualización de la práctica mediante cualquier dispositivo conectado a la internet para su posterior descarga de resultados en una hoja de cálculo, permitiendo analizar a los estudiantes los efectos de consumo de energía eléctrica y logrando el discernimiento en el funcionamiento de los sistemas fotovoltaicos aislados de la red eléctrica así como la capacidad para en su futuro profesional lograr la instalación de cualquier tipo de sistema.



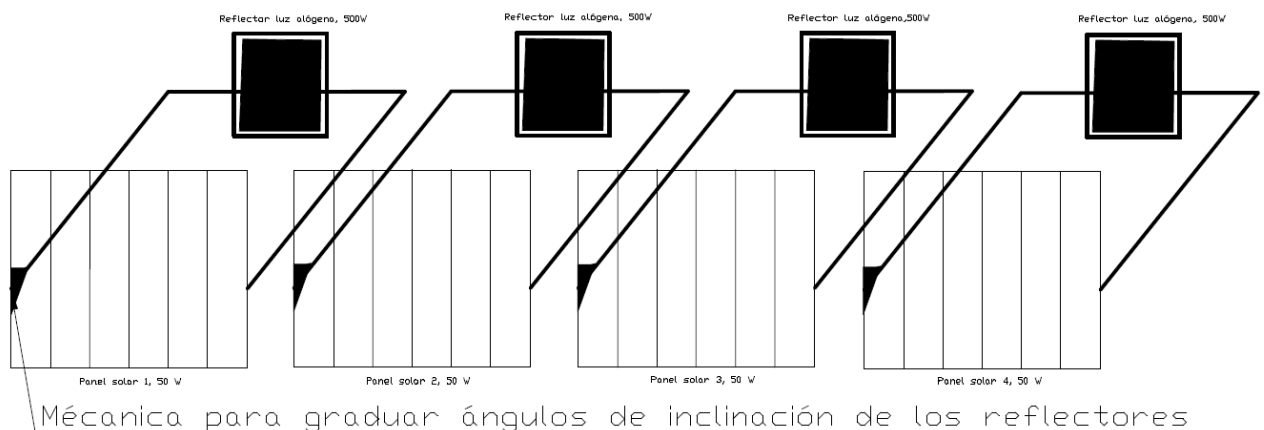
**Figura 5.11.** Diagrama de bloques para el módulo experimental fotovoltaico

### 5.5. Resultados al diseño del módulo experimental

En la figura 5.12. y 5.13. se muestra un bosquejo de todos los componentes de control y visualización juntos dentro de un conjunto de tableros de madera de dimensiones “1.2m \* 0.70 m” y “1.2m \* 0.30m” y la formación de los paneles solares con sus brazos extensores a 50cm y 90cm del panel solar con respecto al reflector de luz alógena de 500W.



**Figura 5.12.** Resultado al diseño propuesto del módulo experimental fotovoltaico (parte 1)



**Figura 5.13.** Resultado al diseño propuesto del módulo experimental fotovoltaico (parte 2)

## 5.6. Medidas de radiación y ángulos de inclinación

Mediante el piranómetro y la graduación de los reflectores, se toman datos para conocer la cantidad de radiación que se tiene con los reflectores encendidos a su máxima potencia y conociendo que en la ciudad de Latacunga entre las 12:00 y 12:30 existe una radiación máxima de  $1225,50 \text{ W/m}^2$  [25], entonces se concluye que con los reflectores, tan solo nos aporta en el mejor de los casos con la mitad de irradiación a comparación del sol.

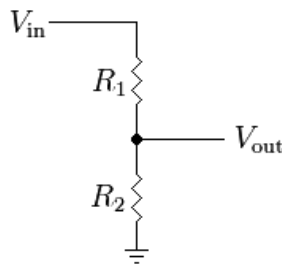
**Tabla 5.1.** Medida de irradiación por panel y por ángulo de inclinación del reflector

	90 grados	70 grados	50 grados	30 grados	10 grados
<b>Panel 1</b>	608 $\text{W/m}^2$	533 $\text{W/m}^2$	305 $\text{W/m}^2$	101 $\text{W/m}^2$	59 $\text{W/m}^2$
<b>Panel 2</b>	602 $\text{W/m}^2$	531 $\text{W/m}^2$	307 $\text{W/m}^2$	100 $\text{W/m}^2$	58 $\text{W/m}^2$
<b>Panel 3</b>	677 $\text{W/m}^2$	563 $\text{W/m}^2$	314 $\text{W/m}^2$	109 $\text{W/m}^2$	60 $\text{W/m}^2$
<b>Panel 4</b>	605 $\text{W/m}^2$	530 $\text{W/m}^2$	307 $\text{W/m}^2$	99 $\text{W/m}^2$	59 $\text{W/m}^2$

## 5.7. Sistema de monitoreo de variables

### 5.7.1. Divisor de tensión y el sensor de voltaje para Arduino

Un divisor de tensión es una configuración de circuito eléctrico que reparte la tensión de una fuente entre una o más impedancias conectadas en serie. [26]



**Figura 5.14.** Divisor resistivo  
**Fuente:** [26]

$$V_{out} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} * V_{in} \quad (5.1)$$

Donde:

$V_{out}$ : es el voltaje de salida; (V).

$R_2$ : resistencia 2 del circuito serie; ( $\Omega$ ).

$R_1$ : resistencia 1 del circuito serie; ( $\Omega$ ).

$V_{in}$ : Voltaje de entrada al circuito serie; (V).

Este circuito nos permite tener una señal cercana a los cinco voltios con dos resistencias de valores 220 k $\Omega$  para  $R_2$  y 10 k $\Omega$  para  $R_1$  ya que el voltaje de entrada será el del inversor que es de 110 V, para luego ser desplazado al cuadrante positivo mediante la suma de voltaje de una batería de 9 V, permitiéndole así trabajar con normalidad a un sensor de voltaje en corriente continua de mínimo 0.25 V y hasta un máximo de 25 V.

### 5.7.2. Sensor de Corriente para Arduino

El sensor es usado para la adquisición de los datos de corriente provenientes de la señal de entrada a 110 V desde el inversor.

### 5.7.3. Placa Arduino Mega 2560

Es una placa de desarrollo de hardware para construir dispositivos digitales y dispositivos interactivos que puedan censar y controlar objetos del mundo real. [27], Esta placa permitió la recolección de datos desde los sensores de voltaje y corriente mediante sus entradas analógicas, logrando ser un canal de transmisión de datos mediante el puerto serial a una Raspberry Pi 3.

### 5.7.4. La Raspberry Pi 3

La Raspberry Pi es una serie de pequeñas computadoras de una sola placa desarrolladas en el Reino Unido por la Fundación Raspberry Pi para promover la enseñanza de la informática básica en las escuelas y en los países en desarrollo.[28], que ha permitido que este proyecto pueda funcionar como una CPU y mediante el puerto serial USB recibir los datos entregados por el Arduino, procesando cálculos para determinar el factor de potencia, la potencia activa, reactiva y aparente y llevándolos a la página de ThingSpeak para mostrarlos en forma gráfica.



**Figura 5.15.** Equipo experimental de monitoreo (vista interior)



**Figura 5.16.** Equipo experimental de monitoreo (vista exterior)

## 5.8. Determinación de Variables

### 5.8.1. Potencia Activa o promedio

Para el cálculo de esta potencia se ha tomado una muestra de 300 datos con el sensor de voltaje y el sensor de corriente haciendo de cada uno el promedio, se los multiplica para obtener la potencia media o potencia activa, su unidad es el Vatio (W).

### 5.8.2. Potencia Aparente

Resulta de la multiplicación de los datos de voltaje y corriente tomados en un instante por los sensores, su unidad es el Voltamperio (VA).

### 5.8.3. Factor de potencia

Es el coseno del ángulo que forman los fasores de la corriente y la tensión.[29], y para el cálculo de este valor se debe dividir la potencia activa respecto a la potencia aparente.

### 5.8.4. Potencia Reactiva

Este tipo de potencia se utiliza, en los circuitos de corriente alterna, para la formación del campo en las bobinas y para la carga de los condensadores. [30], el cálculo de este valor es la raíz cuadrada de la resta de los cuadrados de las potencias aparente y activa, y su unidad es el Voltamperio Reactivo (VAR).

## 5.9. Funcionamiento en la adquisición de datos

Una vez realizado el circuito y programación de las tarjetas, procedemos con la calibración y comparación de datos obtenidos de cada uno de los parámetros, encontrando la mejor configuración para aproximar los valores con exactitud a los equipos profesionales; una vez obtenido los resultados esperados se procede a realizar pruebas con cargas reales obteniendo los siguientes resultados.

### 5.10. Resultados del módulo con cargas típicas de una vivienda.

**Tabla 5.2.** Toma de datos para varios tipos de cargas y la comparación con la toma de valores con otros equipos de medida.

Tipo de Carga	P(W)	MARCA	Carga de Batería	VOLTAJE				CORRIENTE			
				Módulo	AMPROBE ADC-41PQ TRU RMS	FLUKE 117 RMS	Eficiencia	Módulo	AMPROBE ADC-41PQ TRU RMS	FLUKE 117 RMS	Eficiencia
Fluorescente	20W	OSRAM	60%	114,04	113,2	113,1	99%	0,3	0,28	0,29	95%
Led	7W	HOMETECH	60%	113,5	114,1	114	99%	0,12	0,11	0,11	92%
Incandescente	100W	INDIA	60%	107,74	107,3	107	99%	0,75	0,79	0,76	97%
Led + fluorescente	27W	N/A	50%	112,57	112,7	112,5	100%	0,36	0,38	0,37	96%
Led + fluorescente + incandescente	127W	N/A	50%	106,7	107,2	107,2	99%	1	1,02	1,01	98%
Televisión	80W	GOLDSTAR	50%	110,14	110	110,1	100%	0,67	0,67	0,65	99%
Radio	12W	SONISTAR	60%	112,98	113	113,1	100%	0,07	0,068	0,068	97%
Cargador de batería de taladro	30W	DEWALT	60%	111,98	112,2	112	100%	0,28	0,28	0,28	100%
Computador	70W	TOSHIBA	50%	109,06	108,9	109	100%	0,56	0,56	0,56	100%
Led+ fluorescente + incandescente + radio + computador + cargador de taladro + televisión	319W	N/A	50%	104,05	104	104,3	100%	3,25	3,25	3,25	100%



**Figura 5.17.** Gráficas de los resultados dados por el módulo en la página web de ThingSpeak para un foco fluorescente de 20W.

**Tabla 5.3.** Valores resultantes a una carga de 20 W

Voltaje (V)	Corriente (A)	Fp.	P. activa (W)	P. reactiva (VAR)	P. aparente (VA)
114.04	0.3	0.5	17.10	30	34.21

Como corresponde el factor de potencia en este tipo de carga, tiene que darnos bajo ya que presenta muchos armónicos y no es una carga puramente resistiva, las fluctuaciones bruscas que tiene al principio es solo porque en ese momento se cambia de carga o se la introduce.



**Figura 5.18.** Gráficas de los resultados dados por el módulo en la página web de ThingSpeak para un foco led de 7W.

**Tabla 5.4.** Valores resultantes a una carga de 7 W

Voltaje (V)	Corriente (A)	Fp.	P. activa (W)	P. reactiva (VAR)	P. aparente (VA)
113.5	0.12	0.2	2.72	13.34	13.62

Es evidente que para una carga tipo luminaria led debe bajar el factor de potencia y que la corriente sea bastante baja comparada con otras luminarias ya que es de bajo consumo casi una tercera parte de lo que nos da una luminaria fluorescente 20 W del caso anterior. Los valores de las potencias varían más por el valor de la corriente que por el valor del factor de potencia.



**Figura 5.19.** Gráficas de los resultados dados por el módulo en la página web de ThingSpeak para un foco incandescente de 100W.

**Tabla 5.5** Valores resultantes a una carga de 100 W

Voltaje (V)	Corriente (A)	Fp.	P. activa (W)	P. reactiva (VAR)	P. aparente (VA)
107.74	0.75	1	80.80	11	80.80

Para el caso de una carga puramente resistiva se nota que, si existe consumo de potencia reactiva, aunque muy baja, pero se debe al consumo propio del inversor de corriente que tiene un transformador y esto contribuye a su consumo reactivo.

### 5.11. Construcción y partes del módulo experimental fotovoltaico



**Figura 5.20.** Tablero principal y las partes que lo componen



**Figura 5.21.** Banco de baterías de 100 Ah 24V

El Módulo en su tablero principal cuenta con las siguientes partes:

- 1.- Pantalla de 24 pulg.
- 2.- Controlador de Carga 30 A
- 3.- Un inversor de 1500W
- 4.- un ventilador de 24V DC
- 5.- una bombilla para 24V DC
- 6.- una cigarrera a 24V DC
- 7.- un foco fluorescente 20W con interruptor
- 8.- Un foco Led 7W con interruptor
- 9.- Un foco incandescente 100W con interruptor
- 10.- dos tomacorrientes a 110V
- 11.- un voltímetro amperímetro en DC
- 12.- 4 Dimmer para control de intensidad de reflectores
- 13.- Un teclado y mouse
- 14.- Banco de baterías

El modulo cuenta con plug's hembras de distintos colores para que no exista errores en la conexión con los cables bananas que también tienen un color distintivo, logrando así su funcionamiento óptimo, practicando y simulando una instalación real de un sistema fotovoltaico aislado de la red eléctrica, al igual para la conexión de los paneles solares exteriores o interiores.

Una vez construido este Módulo se empieza con una nueva prueba de funcionamiento para recolección de datos por medio de una hoja de cálculo que en la prueba anterior aun no era posible y esta vez se realiza con una carga de baterías al 100% mostrando que la carga de baterías y la baja de voltaje no es impedimento para lograr una medición casi exacta en comparación con los equipos profesionales de medida.

### 5.12. Resultados del módulo con cargas típicas de una vivienda.

**Tabla 5.6.** Toma de datos para varios tipos de cargas y la comparación con la toma de valores con otros equipos de medida

Tipo de Carga	P(W)	MARCA	Carga de Batería	VOLTAJE			Eficiencia	CORRIENTE			Eficiencia
				Módulo	AMPROBE ADC-41PQ TRU RMS	FLUKE 117 RMS		Módulo	AMPROBE ADC-41PQ TRU RMS	FLUKE 117 RMS	
Led + fluorescente + incandescente	127W	N/A	100%	110,46	110,1	110	100%	1,01	0,98	1,02	99%
Cargador de taladro + foco incandescente + foco led + foco fluorescente + radio + televisión + computador	289W	N/A	100%	106,2	106,1	106	100%	2,14	2,1	2,12	99%
Radio + computador + cargador de taladro + televisión	162W	N/A	100%	110,51	110,7	110,5	100%	1,42	1,38	1,4	98%
capacitor 20uf + foco incandescente + foco led + foco fluorescente + radio + tv + cargador	219W	N/A	100%	111,45	111,3	111,9	100%	2,14	2,13	2,15	100%

**Tabla 5.7.** Resultados descargados en una tabla de Excel de la página web de ThingSpeak para una Radio + computador + cargador de taladro + televisión

Fecha	Número de datos	Voltaje (V)	Corriente (A)	Potencia activa (W)	Factor de potencia	Potencia reactiva (VAR)	Potencia aparente (VA)
2018-07-12 02:35:55	1	110	1,77	179,04	0,92	77,32	195,02
2018-07-12 02:36:23	2	114,04	1,12	93,72	0,73	87,52	128,23
2018-07-12 02:36:51	3	115,85	1,11	94,88	0,74	87,52	129,08
2018-07-12 02:37:18	4	114,08	1,15	98,01	0,75	87,69	131,51
2018-07-12 02:37:46	5	114,31	1,1	91,93	0,73	86,32	126,1
2018-07-12 02:38:14	6	115,13	1,11	94,59	0,74	85,96	127,81
2018-07-12 02:38:42	7	114,88	1,09	90,37	0,72	85,96	124,72
2018-07-12 02:39:10	8	114,94	1,14	95,35	0,73	89,1	130,5
2018-07-12 02:39:37	9	114,94	1,17	97,72	0,73	92,04	134,24
2018-07-12 02:40:06	10	115,68	1,1	91,61	0,72	88,59	127,44
2018-07-12 02:40:35	11	116,46	1,02	86	0,73	81,38	118,4
2018-07-12 02:41:01	12	117,93	1,03	84,57	0,7	86,55	121,01
2018-07-12 02:41:29	13	116,52	1,09	88,54	0,7	90,38	126,52
2018-07-12 02:41:56	14	116,67	1,08	90,8	0,72	86,96	125,73
2018-07-12 02:42:27	15	116,15	1,06	89,5	0,72	85,06	123,47
2018-07-12 02:42:56	16	118,35	0,97	80,77	0,71	81,1	114,46
2018-07-12 02:43:26	17	117,18	1,02	86,38	0,72	82,1	119,17

La tabla de Excel refleja los resultados obtenidos en una prueba realizada desde 02:35:55 hasta las 02:43:26 reflejando así las gráficas con sus valores con esto se comprueba la efectividad del módulo y su capacidad para medir y receptar los datos desde el sensor de corriente y de voltaje.

Las cargas probadas en el módulo son típicas para una vivienda, donde después de realizada la prueba se puede deducir con gran efectividad que, por ser una mezcla, con cargas inductivas, y resistivas el factor de potencia tiene un valor de 0.75 lo que podríamos calificar como bueno ya que el consumo de potencia activa es alto alrededor de los 94 W por lo que ese valor beneficia al usuario final en el costo de la planilla eléctrica.

Al tener un factor de potencia más cercano a 1 que ha cero podemos ver que los valores de potencia activa no están alejados de los valores de la potencia aparente



**Figura 5.22.** Resultados dados por el módulo en la página web de ThingSpeak para una radio + computador + cargador de taladro + televisión

**Tabla 5.8.** Resultados descargados en una tabla de Excel de la página web de ThingSpeak para un capacitor 20uf + foco incandescente + foco led + foco fluorescente + radio + tv + cargador

Fecha	Número de datos	Voltaje (V)	Corriente (A)	Potencia activa (W)	Factor de potencia	Potencia reactiva (VAR)	Potencia aparente (VA)
2018-07-12 02:23:46	1	106,91	1,99	195,45	0,92	84,23	212,83
2018-07-12 02:24:13	2	106,83	2,02	197,68	0,92	85,54	215,4
2018-07-12 02:24:33	3	106,63	2	197,29	0,93	79,63	212,76
2018-07-12 02:25:05	4	107,11	2,24	188,23	0,78	148,96	240,04
2018-07-12 02:25:31	5	107,55	2,22	185,98	0,78	149,06	238,34
2018-07-12 02:26:00	6	108,3	2,24	187,84	0,77	153,64	242,67
2018-07-12 02:26:29	7	106,68	2,16	177,55	0,77	146,99	230,5
2018-07-12 02:26:54	8	107,42	2,17	179,86	0,77	147,73	232,75
2018-07-12 02:27:22	9	110,17	2,32	196,77	0,77	162,39	255,12
2018-07-12 02:27:51	10	110,14	2,31	197,03	0,77	161,09	254,5
2018-07-12 02:28:19	11	111,22	2,21	189,54	0,77	156,76	245,96
2018-07-12 02:28:48	12	111,3	2,21	188,65	0,77	157,04	245,46
2018-07-12 02:29:16	13	111,26	2,23	190,7	0,77	158,66	248,07
2018-07-12 02:29:46	14	110,35	2,29	196,25	0,78	158,74	252,41
2018-07-12 02:30:14	15	112,45	2,12	181,2	0,76	155,34	238,67
2018-07-12 02:30:43	16	111,12	2,15	181,52	0,76	154,47	238,35
2018-07-12 02:31:11	17	111,4	2,16	182,86	0,76	156,7	240,82
2018-07-12 02:31:39	18	111,45	2,09	174,99	0,75	154,3	233,3
2018-07-12 02:32:08	19	111,43	2,07	175,34	0,76	150,39	231
2018-07-12 02:32:36	20	112,24	2,14	182,53	0,76	156,11	240,19
2018-07-12 02:33:05	21	111,13	2,16	186,48	0,78	150,97	239,93
2018-07-12 02:33:33	22	111,28	2,09	175,74	0,75	153,06	233,05
2018-07-12 02:34:02	23	113,44	2,06	175,22	0,75	154,98	233,93

La tabla de Excel refleja los resultados obtenidos en una prueba realizada desde 02:23:46 hasta las 02:34:02 reflejando así las gráficas con sus valores con esto se comprueba la efectividad del módulo y su capacidad para medir y receptor los datos desde el sensor de corriente y de voltaje.

En este caso se ha aumentado carga, pero con la diferencia de que se conecta un capacitor de 20 uf lo que permite, un aumento en el valor del voltaje, permitiendo mantener el factor de potencia en un valor aceptable de 0.78 lo que supone que ha disminuido el valor de la corriente.



**Figura 5.23.** Resultados dados por el módulo en la página web de ThingSpeak para un capacitor 20uf + foco incandescente + foco led + foco fluorescente + radio + tv + cargador

### 5.13. Validación de hipótesis

Con el desarrollo del módulo experimental se pudo verificar que a partir del sistema de monitoreo diseñado y mediante los diferentes tipos de cargas, así como los diferentes tipos de paneles solares, que se puede en él conectar, el análisis y configuración en términos de las cargas, estudiar su comportamiento, evaluar su régimen de trabajo, lo cual facilitara el estudio que se realizaría en las redes aisladas, utilizadas principalmente en el uso residencial. El módulo será un sistema que permitirá en el área de la docencia en la disciplina de energías alternativas a que los estudiantes puedan profundizar en la arquitectura de los sistemas fotovoltaicos y en la medición de los parámetros en función de las cargas que se quieran conectar.

## 6. ANÁLISIS TÉCNICO ECONÓMICO Y ANÁLISIS DE IMPACTOS

### 6.1. Costo de materiales

**Tabla 6.1.** Costos de materiales

Ítem	Material	Descripción Adicional	Marca	Cantidad	Unidad	Precio unitario con IVA	Total
1	Conductor de cobre flexible No 16			100	m	\$ 0,34	\$ 34,00
2	Conductor de cobre flexible No 12			50	m	\$ 0,42	\$ 21,00
3	Conductor gemelo No 12			10	m	\$ 0,55	\$ 5,50
4	Conductor gemelo No 10			2	m	\$ 0,90	\$ 1,80
6	Panel solar poli cristalino 50W		Zohan	2	c/u	\$ 89,60	\$ 179,20
8	Tubo 3/4" acero			4	m	\$ 4,50	\$ 18,00
9	Tubo 1/2" acero			4	m	\$ 3,50	\$ 14,00
10	Broca 1/2	para concreto		1	c/u	\$ 0,80	\$ 0,80
11	Broca 1/2	para acero		1	c/u	\$ 0,80	\$ 0,80
12	Broca 5/8	para acero		1	c/u	\$ 0,50	\$ 0,50
13	Tornillos y tuercas 3/4 * 1"			16	c/u	\$ 0,12	\$ 1,92
14	Tornillos y tuercas 3/4" * 2"			16	c/u	\$ 0,15	\$ 2,40
15	Tornillos y tuercas 3/4" * 2,5"			8	c/u	\$ 0,18	\$ 1,44
16	Tornillos y tuercas 3/4 * 3"			8	c/u	\$ 0,20	\$ 1,60
17	Tornillos punta 2,5"	para pared		16	c/u	\$ 0,10	\$ 1,60

18	Taco Fisher No 10	para pared		16	c/u	\$ 0,07	\$ 1,12
19	Taco Fisher No 6	para pared		25	c/u	\$ 0,05	\$ 1,25
20	Electrodos 60-13	azul		4	c/u	\$ 0,20	\$ 0,80
21	Cemento de Contacto			1	100ml	\$ 0,95	\$ 0,95
22	Estaño 50grm			1	c/u	\$ 3,00	\$ 3,00
23	Brocha 1/2"			1	c/u	\$ 0,75	\$ 0,75
24	Pintura metal	color negra		1	litro	\$ 4,50	\$ 4,50
25	Conectores Banana macho y hembra	negro y roja		20	c/u	\$ 0,07	\$ 1,40
26	pasadores 2"	sujetador		4	c/u	\$ 0,15	\$ 0,60
27	Correas de plástico	negras		36	c/u	\$ 0,03	\$ 1,08
28	Caja para herramientas	plástico		1	c/u	\$ 4,00	\$ 4,00
30	Boquillas 120v			3	c/u	\$ 0,50	\$ 1,50
31	Interruptor			3	c/u	\$ 0,90	\$ 2,70
32	Tomacorrientes			2	c/u	\$ 1,00	\$ 2,00
33	Cigarrera 12v			1	c/u	\$ 1,50	\$ 1,50
34	Boquilla 12v			1	c/u	\$ 0,50	\$ 0,50
35	Foco 12v			1	c/u	\$ 0,50	\$ 0,50
36	Foco incandescente 120v			1	c/u	\$ 1,50	\$ 1,50
37	Foco led 120v			1	c/u	\$ 1,50	\$ 1,50
38	Foco fluorescente	Luz blanca		1	c/u	\$ 2,00	\$ 2,00
39	Ventilador 12v			1	c/u	\$ 15,00	\$ 15,00
40	Fusible 12A			2	c/u	\$ 1,20	\$ 2,40
41	Resistencias varios valores			6	c/u	\$ 0,05	\$ 0,30
42	batería 9V			2	c/u	\$ 3,40	\$ 6,80
43	cable Arduino			2	c/u	\$ 1,80	\$ 3,60
44	otros			1	N/A	\$ 10,00	\$ 10,00
46	Arduino Mega 2560			1	c/u	\$ 35,00	\$ 35,00
47	Raspberry pi 3			1	c/u	\$ 70,00	\$ 70,00
48	Sensor de voltaje			1	c/u	\$ 25,00	\$ 25,00
49	Sensor de corriente			1	c/u	\$ 30,00	\$ 30,00
50	Voltímetro Amperímetro DC			1	c/u	\$ 13,00	\$ 13,00
51	Teclado para computador	blanco		1	c/u	\$ 12,00	\$ 12,00
53	Lona impresa			2	m	\$ 10,00	\$ 20,00
55	Gastos viajes	Quito		4		\$ 10,00	\$ 40,00
56	impresiones	graduador		4	hojas	\$ 0,10	\$ 0,40
57	Monitor reparación			1	c/u	\$ 0,10	\$ 0,10

**Total**                      **\$ 611.21**

## 6.2. Comparación técnica y económica con el equipo Lab-Volt 46120

El costo del Módulo Experimental Fotovoltaico es de 611.21 dólares americanos sin contar con los materiales obtenidos de los proyectos anteriores, mano de obra, diseño entre otros que fácilmente podrían cuadruplicar este precio, pero a diferencia del Sistema Didáctico de Energía Solar y Eólica 46120 de la marca Lab-Volt de un precio estimado de 28 mil dólares americanos y por las características técnicas y la facilidad para el análisis de parámetros eléctricos comprueba que el proyecto realizado es factible , practicable y hacedero para nuevas investigaciones y creaciones en instituciones educativas.

**Tabla 6.2.** Comparación Técnica entre el MEF y Lab-Volt 46120

<b>Lab-Volt 46120</b>	<b>MEF</b> (Módulo Experimental Fotovoltaico)	
<b>Componentes del sistema didáctico de energía solar y eólica</b>	<b>Componentes del módulo experimental fotovoltaico</b>	<b>Comparación superada</b>
Estación de trabajo móvill	Tablero de trabajo	No
Módulo solar fotovoltaico	4 paneles solares de 50W	Si
Aerogenerador	No cumple	
Interruptor de parada	no	No
Controlador de carga solar FV	Controlador de 30 A a 24 V	Si
Controlador de carga por derivación	No cumple	
Resistencia de descarga	Cargas de distinto tipo en AC y en DC	Si
Multímetro digital	Monitoreo de datos	Si
Monitor de uso de potencia (U/P)	Monitoreo de datos	Si
Amperímetro	Monitoreo de datos	Si
Medidor de Vatios-hora	Monitoreo de datos	Si
Banco de baterías	2 Baterías a 100Ah	Si
Inversor	Inversor 1500W	Si
Interruptor de desconexión (con llave)	Interruptores para cada boquilla	Si
Módulo de bloqueo y etiquetado (con cerrojo)	Monitoreo de datos	Si
Caja de disyuntores de CA	Es capaz de incluir este tipo	No

	de carga en CA	
Disyuntor de CC	3 cargas distintas para DC	Si
Tomacorriente doble de CA/CC	Tomacorriente doble AC	Si
Tomacorriente doble de CA	Tomacorriente doble AC	Si
Interruptor de pared de CA/CC	Plug de desconexión	Si
Adaptador para lámpara	3 boquillas	Si
Lámpara incandescente	Lámpara incandescente 100W	Si
Lámpara fluorecente	Lámpara fluorescente 20W	Si
Lámpara LED	Lámpara Led 7W	Si
Barra de distribución de energía	No cumple	
Panel de distribución de energía de CC	No cumple	
Motor de CC y controlador	No cumple	
(Simulador de viento)	No cumple	
Lámpara reflectora de CA (Simulador solar)	4 reflectores de 500W alógenos	Si
Caja de conexiones del banco de baterías	No requiere	Si
Caja de conexiones del arreglo solar	Implementación de los paneles en la pared del laboratorio con estructuras metálicas	Si
Paquete de accesorios (lámparas, fusibles, cables, adaptadores, múltiple de enchufes y cargador de baterías)	Cables, las baterías pueden ser cargadas con los paneles externos, los demás implementos no son requeridos o son de bajo costo y rápida adquisición	Si
Kit de cables de conexión	Cables de conexión	Si
	Pantalla para visualización de datos	Si
	Página web para	Si

	almacenamiento de datos y visualización desde cualquier dispositivo con acceso a internet	
	4 Dimmer para control de iluminación a los paneles	Si
	Voltímetro amperímetro para control de conexión de paneles	Si
	Teclado y mouse para el rápido acceso a la información	Si

**Fuente:** [27]

La comparación del equipo profesional Lab-Volt 46120 con el módulo experimental arroja resultados totalmente satisfactorios, superando ampliamente en el aspecto de monitoreo de parámetros eléctricos, su sistema de adquisición de datos mediante la página web de ThingSpeak para su posterior análisis de los datos descargados de la prueba puntual; así como la capacidad de energía por parte de las celdas fotovoltaicas de generación y almacenamiento en las baterías; además de la gran versatilidad de cargas que a este se le puede acoplar (resistivas, capacitivas e inductivas), esto en el ámbito técnico y en la proyección de antecedentes a analizar este presenta una mayor ventaja y facilidad al incluir una mini computadora en conjunto con un monitor de 24 pulgadas, teniendo así una correcta armonía visual para el operador del módulo.

### 6.3. Análisis de impactos

**Impacto práctico:** el módulo experimental fotovoltaico sirve para la enseñanza aprendizaje de los estudiantes y docentes de la carrera de ingeniería eléctrica, para que la educación pueda ser complementada en el perfil técnico práctico, facilitando el manejo e instalación de equipos y sus características en los sistemas aislados de la red eléctrica, se hace necesario resaltar que para el manejo y aprendizaje del módulo fotovoltaico existe un manual de operación y prácticas de laboratorio para que el docente pueda evaluar el rendimiento del estudiante el cual se incluye en el (Anexo V).

**Impacto simbólico:** este proyecto simboliza un impulso a la utilización de energía renovable en la región e implica satisfacer del servicio de energía eléctrica a los lugares donde los sistemas convencionales aun no pueden llegar.

**Impacto tecnológico:** el principal objeto que hace viable este proyecto es la aventajada ubicación geográfica de la región y el gran avance tecnológico de sistemas de captación fotovoltaica, que, al ser aprovechada para la generación de energía eléctrica, sustituiría la producción actual a base de hidrocarburos, revalorizando así el ecosistema y dejando de lado la emisión de gases contaminantes y alteración de medio ambiente.

**Impacto ambiental:** se aprovecha la energía potencial emitida por el sol y disminuye la utilización los recursos no renovables, al ser un proyecto sin mayor impacto ecológico no produce alteraciones de ninguna índole en el ecosistema.

**Impacto ético:** satisface el servicio básico de energía eléctrica y potencia la utilización e instalación de sistemas fotovoltaico en los hogares, creando un modismo que incentive a la sustitución en la producción de energía eléctrica y asegurando su autonomía.

**Impacto epistemológico:** la falta de análisis en los sistemas aislados de red provoca el desconocimiento en la utilización de sistemas renovables, que permitirían la explotación de los recursos naturales que no causen impacto en el ecosistema.

## 7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 7.1. Conclusiones

- Una vez que realizada la encuesta se comprueba la necesidad de un módulo experimental fotovoltaico, que sea capaz de entregar datos mediante una o varias gráficas y que estos puedan ser descargados para su posterior análisis, aunado a esto el equipo de monitoreo es portable para el análisis de parámetros eléctricos no solo en el laboratorio de energías alternativas sino para el lugar donde se requiera hacer una medición en algún tipo de carga en AC.
- El diseño incluye un sistema de monitoreo de parámetros eléctricos de voltaje, corriente, potencia aparente, potencia activa, potencia reactiva y factor de potencia, permitiendo realizar un análisis profundo del funcionamiento de un sistema fotovoltaico, igualmente las estructuras metálicas de los paneles permiten graduar ángulos de inclinación de los reflectores, permitiendo simular la trayectoria solar, además permiten graduar la distancia de los mismos al panel, asimismo el módulo permite graduar la intensidad de iluminación mediante potenciómetros independientes para cada uno
- Se determinó que el sistema de monitoreo se puede realizar mediante dos sensores uno de corriente y uno de voltaje y por la deficiencia que tiene este último de no poder medir voltajes negativos requiere de un divisor de voltaje con resistencias de  $220\text{k}\Omega$  y  $10\text{k}\Omega$  para que esta señal sea sumada un voltaje de 9V DC forzándolo a ser desplazado al cuadrante positivo, una tarjeta de adquisición de datos (ARDUINO MEGA 2560), una CPU (Raspberry Pi 3), lo cual nos permite la recepción de datos y visualización a la salida del mismo.
- El módulo que se ha construido tiene un costo \$611.21 dólares americanos sin incluir la mano de obra, diseño y en comparación con otros módulos este tiene más prestaciones y nos permite realizar un análisis en los parámetros eléctricos para cada carga conectada, por lo tanto, este proyecto ha resultado ser viable en su estudio y construcción.

## 7.2. Recomendaciones

- Se puede repotenciar el laboratorio con un módulo experimental para energía eólica que satisfaga las necesidades en la práctica de los estudiantes y en el uso de esta tecnología en la región.
- El diseño del módulo experimental puede ser mejorado, si se realiza la investigación para que el equipo de análisis de parámetros eléctricos pueda ser totalmente portable en cualquier ambiente, ya que hoy en día se encuentra limitado para ambientes secos y libres de humedad.
- Se propone que para otras investigaciones se utilice software y hardware libre ya que permiten a los estudiantes realizar proyectos como este módulo experimental fotovoltaico que permite la adquisición de datos para su análisis, sin la utilización de grandes recursos económicos.
- Recogiendo los datos entregados, la Universidad podría adquirir los elementos para que construir más de estos equipos, aumentando el número de usuarios, no solo de la carrera de Ingeniería Eléctrica sino también de carreras afines como Ingeniería Electromecánica e Ingeniería Industria.

## 8. BIBLIOGRAFÍA

- [1] «La energía solar se abre terreno en Ecuador | Diseño | Tendencias | El Universo». [En línea]. Disponible en: <https://www.eluniverso.com/tendencias/2017/06/10/nota/6222868/energia-solar-se-abre-terreno-ecuador>. [Accedido: 12-jul-2018].
- [2] «Paneles fotovoltaicos y nanotecnología | Nanotecnología». [En línea]. Disponible en: <https://nanotecnologia.fundaciontelefonica.com/2011/07/21/paneles-fotovoltaicos-y-nanotecnologia/>. [Accedido: 22-jul-2018].
- [3] A. de R. y C. de Electricidad, «Agencia de Regulación y Control de Electricidad» Balance Nacional de Energía Eléctrica», *Agencia de Regulación y Control de Electricidad*. .
- [4] «Un programa para tener “Cero Viviendas sin Luz”», *Agencia Publica de Noticias del Distrito Metropolitano de Quito*. [En línea]. Disponible en: [http://noticiasquito.gob.ec/index.php?module=Noticias&func=news\\_user\\_view&id=9216&umt=Un%20programa%20para%20tener%20%93Cero%20Viviendas%20sin%20Luz%94](http://noticiasquito.gob.ec/index.php?module=Noticias&func=news_user_view&id=9216&umt=Un%20programa%20para%20tener%20%93Cero%20Viviendas%20sin%20Luz%94). [Accedido: 23-jul-2018].
- [5] «CRECE PROYECTO CERO VIVIENDAS SIN LUZ DE ELECTRICIDAD EFICIENTE Y LIMPIA - Noticias y novedades de interés para consumidores, ciudadanos y trabajadores - Empresa Eléctrica Quito». [En línea]. Disponible en: [http://www.eeq.com.ec:8080/nosotros/comunicamos/noticias/-/asset\\_publisher/PDd0RO7lSu5d/content/crece-proyecto-cero-viviendas-sin-luz-de-electricidad-eficiente-y-limpia;jsessionid=D62B0635AD873CE6D4D673D827FEEED4](http://www.eeq.com.ec:8080/nosotros/comunicamos/noticias/-/asset_publisher/PDd0RO7lSu5d/content/crece-proyecto-cero-viviendas-sin-luz-de-electricidad-eficiente-y-limpia;jsessionid=D62B0635AD873CE6D4D673D827FEEED4). [Accedido: 12-jul-2018].
- [6] «Suministro de electricidad en redes solares aisladas y de respaldo». [En línea]. Disponible en: <http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:9aEtqdlpNdkJ:files.sma.de/dl/10040/INSELVERSOR-AES104310-web.pdf+&cd=9&hl=es-419&ct=clnk&gl=ec&client=firefox-b-ab>. [Accedido: 23-jul-2018].
- [7] «Comparativa: panel solar poli, mono, cuasi-mono, y amorfo». [En línea]. Disponible en: [https://www.damiasolar.com/actualidad/blog/articulos-sobre-la-energia-solar-y-sus-componentes/comparativa-panel-solar-poli-mono-cuasimono-amorfo\\_1](https://www.damiasolar.com/actualidad/blog/articulos-sobre-la-energia-solar-y-sus-componentes/comparativa-panel-solar-poli-mono-cuasimono-amorfo_1). [Accedido: 23-jul-2018].
- [8] «Sistema solar fotovoltaico aislado: Aplicaciones de Energía Solar Aragón». [En línea]. Disponible en: <https://www.energiasolararagon.com/aplicaciones/sistema-solar-fotovoltaico-aislado.html>. [Accedido: 23-jul-2018].
- [9] «Fotovoltaica Aislada, productos Off-Grid - Distribución y Venta». [En línea]. Disponible en: <https://www.sfe-solar.com/fotovoltaica-aislada/>. [Accedido: 23-jul-2018].
- [10] «Dimensionar las baterías para una instalación fotovoltaica», *Blog Comercial Solar*, 26-nov-2015. .
- [11] «Dimensionamiento de un sistema de energía solar fotovoltaica para una vivienda familiar de la Ciudad de Córdoba». [En línea]. Disponible en: [https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:OkYQGuh5\\_ssJ:https://revistas.unc.edu.ar/index.php/FCEFYN/article/viewFile/10884/12668+&cd=9&hl=es-419&ct=clnk&gl=ec&client=firefox-b-ab](https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:OkYQGuh5_ssJ:https://revistas.unc.edu.ar/index.php/FCEFYN/article/viewFile/10884/12668+&cd=9&hl=es-419&ct=clnk&gl=ec&client=firefox-b-ab). [Accedido: 23-jul-2018].
- [12] C. Erazo, C. Alexander, S. Cajilema, y F. José, «Diseño e implementación de un sistema de energía solar en el laboratorio de energía renovable de la Universidad Técnica de Cotopaxi, para el estudio de los regímenes de captación y almacenamiento de energía renovable.», nov. 2017.

- [13] S. MIGUEL, «Diseño e implementación de un Laboratorio de Energía Fotovoltaica», p. 124.
- [14] <http://www.insur.com.ar>, «TABLERO DE MESA ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA INICIAL». [En línea]. Disponible en: <http://www.insur.com.ar/equipos/area-energias-renovables/sol-12-tm4/225>. [Accedido: 09-jul-2018].
- [15] <http://www.insur.com.ar>, «TABLERO DE MESA ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA INTERMEDIO». [En línea]. Disponible en: <http://www.insur.com.ar/equipos/area-energias-renovables/sol-13-tm8/226>. [Accedido: 09-jul-2018].
- [16] «05 FECYT 1420.pdf». .
- [17] «Piranómetro», *Wikipedia, la enciclopedia libre*. 27-jul-2017.
- [18] «2695023\_6112\_spa\_a\_w.pdf». .
- [19] «Amprobe ACD-41PQ - Pinza amperimétrica con medición de potencia (calidad de la energía) 1,000A AC». [En línea]. Disponible en: <http://www.cedesa.com.mx/amprobe/medidores/amperimetros/ACD-41PQ/>. [Accedido: 16-jul-2018].
- [20] «Fluke 117: el multímetro ideal para técnicos electricistas». [En línea]. Disponible en: <https://www.fluke.com/es-mx/producto/comprobacion-electrica/multimetros-digitales/fluke-117>. [Accedido: 15-jul-2018].
- [21] «¿Qué es Raspbian? - Curso de introducción a Raspberry Pi», <https://www.programoergosum.com>. [En línea]. Disponible en: <https://www.programoergosum.com/cursos-online/raspberry-pi/232-curso-de-introduccion-a-raspberry-pi/instalar-raspbian>. [Accedido: 15-jul-2018].
- [22] «Python», *Wikipedia, la enciclopedia libre*. 30-jun-2018.
- [23] «ThingSpeak», *Wikipedia*. 22-may-2018.
- [24] «Blynk Internet of Things App for Arduino to Support ThingSpeak Web Services», *Hans on IoT*. .
- [25] «Radiación solar en Latacunga y su impacto en la generación de energía eléctrica a través de un sistema fotovoltaico». [En línea]. Disponible en: <http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:HwXNxcz3ze4J:investigacion.utc.edu.ec/revistasutc/index.php/utciencia/article/download/18/20+&cd=1&hl=es-419&ct=clnk&gl=ec>. [Accedido: 18-jul-2018].
- [26] «Divisor de tensión», *Wikipedia, la enciclopedia libre*. 02-dic-2017.
- [27] «Arduino», *Wikipedia, la enciclopedia libre*. 01-jul-2018.
- [28] «Raspberry Pi», *Wikipedia*. 04-jul-2018.
- [29] «Factor de potencia», *Wikipedia, la enciclopedia libre*. 03-abr-2018.
- [30] juan camilo, «Tringulo de potencias», 10:48:33 UTC.
- [31] «modulosolarestudiente.pdf».

## 9. ANEXOS

ANEXO I.1	ENCUESTA A ESTUDIANTES	HOJA 1 DE 2
-----------	------------------------	-------------

# UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

## FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

La siguiente encuesta tiene como propósito obtener información fundamental para mejorar la investigación de los estudiantes de Ingeniería Eléctrica.

En cada una de las preguntas señale o marque una sola opción dada.

1.- ¿Cree usted que la investigación sobre energía solar fotovoltaica en la provincia de Cotopaxi es deficiente y requiere de nuestra atención como estudiantes de Ingeniería Eléctrica?

Si  No

2.- ¿Usted cree que mediante prácticas de laboratorio en un módulo solar fotovoltaico ayude a complementar el aprendizaje y a desarrollar la investigación sobre este tipo de energía?

Si  No

3.- ¿Un módulo solar fotovoltaico que sea intuitivo y didáctico le ayudaría a usted a la capacitación práctica y al desarrollo de esta tecnología como una fuente de energía convencional?

Si  No

4.- De existir el módulo en el laboratorio, ¿estarías de acuerdo que el módulo te permita realizar las conexiones desde su parte inicial hasta su puesta en funcionamiento?

Si  No

5.- ¿Para usted, es preciso que el módulo le permita monitorear los parámetros eléctricos y cuente con una fuente de adquisición de datos para su posterior análisis de los resultados?

Si  No

# UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

## FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

**La siguiente encuesta tiene como propósito obtener información fundamental para la realización del proyecto de Tesis en el área de Energías Alternativas.**

**En cada una de las preguntas señale o marque una sola opción dada.**

**1. Una alternativa para mejorar la enseñanza aprendizaje de los estudiantes sería:**

- Con un módulo interactivo para prácticas en los laboratorios
- Con más horas teóricas de clase a la semana

**2. Si la Universidad contará con un módulo experimental fotovoltaico en el laboratorio de energías alternativas, sería mejor que:**

- El estudiante realice las conexiones desde su parte inicial hasta su puesta en funcionamiento.
- El módulo no requiera de instalaciones previas para su funcionamiento

**3. Una las características del módulo fotovoltaico es la luz artificial la cual permite simular la luz natural. Por lo tanto, el módulo debe:**

- Mantener estática la luz con respecto a los paneles solares, para una mayor captación de energía
- Incluir un mecanismo que permita obtener distintos ángulos de luz con respecto a los paneles solares, para un mejor análisis en los datos obtenidos.

**4. Entre sus características el módulo debe alimentar cargas:**

- Exclusivamente en corriente alterna, ya que son las que se utilizan en los hogares
- Deben alternarse entre corriente alterna y continua, ya que el estudiante utilizará las dos en su vida laboral.

**5. Una cualidad importante de en el módulo será:**

- Que permita monitorear los parámetros eléctricos y cuente con una fuente de adquisición de datos
- Que solo refleje los datos obtenidos en una pantalla.

ANEXO II.1	PROGRAMACIÓN ARDUINO	HOJA 1 DE 2
<pre>#define muestras 300 int voltaje[muestras]; int intensidad[muestras]; unsigned long tiempo[muestras]; unsigned int voltaje_max; int voltios[muestras]; int inten[muestras]; float sumaaparente=0; float voltajee=0; float rms_corriente=0; int aparente[muestras]; float amperios[muestras]; float p=0; long suma=0; float sumaa=0; float s=0; float fp=0; float phi=0; float reactiva=0; void setup() {   Serial.begin(2400);} void loop() {   suma=0;   sumaa=0;   sumaaparente=0;   Muestreo();   calculos();   Envio();   delay(12000);   reset ();} void reset(){   for(int i=0; i&lt;muestras; i++){     voltios[i]=0;     amperios[i]=0;     aparente[i]=0;</pre>	<pre>p=0; suma=0; sumaa=0;}} void calculos(){   for(int i=0; i&lt;muestras; i++){     voltios[i]=-(voltios[i]-280)*0.738;     //voltios[i]=(voltios[i]-125.5)*2.40;     amperios[i]=(inten[i]-513)*0.075;     aparente[i]=voltios[i]*amperios[i];     sumaaparente=sumaaparente+aparente[i];     p=sumaaparente/muestras;     suma=suma+pow(voltios[i],2);     sumaa=sumaa+pow(amperios[i],2);}   voltajee=sqrt((suma/muestras));   rms_corriente=sqrt((sumaa/muestras));   s=voltajee*rms_corriente;   fp=p/s;   phi=acos(fp);   reactiva=s*sin(phi);} void Muestreo(){   unsigned long tiempo_objetivo;   unsigned long cuenta;   for(int i=0; i&lt;muestras; i++){     tiempo_objetivo = millis()+1; //Sumando un     milisegundo     //voltios[i] = analogRead(A0); //se muestrea a 1 kHz.     voltios[i] = analogRead(A0)*0.85; //se muestrea a 1     kHz.     inten[i] = analogRead(A1);     tiempo[i] = millis();     cuenta = millis();     while (cuenta &lt; tiempo_objetivo){       cuenta = millis();}}   void Envio(){     //Serial.println("2222,2222,-2222");</pre>	

<pre>sumaaparente=0;</pre>	<pre>Serial.println(); Serial.print(rms_corriente); Serial.print(","); Serial.print(voltajee); Serial.print(","); Serial.print(p); Serial.print(","); Serial.print(fp); Serial.print(","); Serial.print(reactiva); Serial.print(","); Serial.print(s); Serial.print(","); for(int i=0; i&lt;muestras; i++){   Serial.print(voltios[i]);   Serial.print(","); } for(int i=0; i&lt;muestras; i++){   Serial.print(amperios[i]);   Serial.print(","); } for(int i=0; i&lt;muestras; i++){   Serial.print(aparente[i]);   Serial.print(","); } }</pre>
----------------------------	--

```
# -*- coding: utf-8 -*-
import httpplib2 # Librería para clientes http
import serial # Librería del puerto serie para Arduino
import time
import Gnuplot
gplot = Gnuplot.Gnuplot(debug = 1)
g2 = Gnuplot.Gnuplot(debug = 1)
g3 = Gnuplot.Gnuplot(debug = 1)
gplot.title("Grafica Voltaje vs Tiempo")
g2.title("Grafica Corriente vs Tiempo")
g3.title("Grafica Potencia Aparente (S) vs Tiempo")
gplot.xlabel("t (mseg)")
g2.xlabel("t (mseg)")
g3.xlabel("t (mseg)")
gplot.ylabel("V (voltios)")
g2.ylabel("A (amperios)")
g3.ylabel("S (VA)")
# Set style of plot. We want lines
gplot("set style data lines") #pone el grafico de tipo lineas ;
g2("set style data lines") #pone el grafico de tipo lineas ;
g3("set style data lines") #pone el grafico de tipo lineas ;
# gplot("set data style linespoints")
# gplot("set grid") # pone la cuadrícula ;gh2018, gherrera2k1@gmail.com
#gplot("set ytic 1")
gplot("set xtic 10")
g2("set xtic 10")
g3("set xtic 5")
#gplot("set ytic 15")
gplot("set autoscale y")
g2("set autoscale y")
#g2("set ytic 15")
#g3("set ytic 500")
g3("set autoscale y")
# writeKey = "N7LKTH3PIM1198LL" # Key que nos da la página de thingspeak para nuestro canal
```

```
# writeKey = "11NVAZ78EG5U860Z" # Key que nosmía de gerardo
writeKey = "KASLQ8E6HUKZBI2O" # Key que nosmía de gerardo
# ser = serial.Serial('/dev/ttyUSB0', 230400) #Abrimos puerto Serie, sustituir 'dev/ttyUSB0', por 'COM2',
'COM3' o el puerto que use el Arduino en tu PC.
# ser = serial.Serial('/dev/ttyACM0', 9600)#Abrimos puerto Serie para ardu mega
ser = serial.Serial('/dev/ttyACM0', 2400)
ser.readline() # Esperamos a que el arduino envíe una línea para evitar leer luego una corrupta.
conn = httpplib2.Http() # creamos la conexión http.
while True:
    c = 0
    data = []
    data2 = []
    data3 = []
    # while True:
    while (c < 1):
        datoString = ser.readline() # Leemos una nueva línea enviada por el arduino
        datos = str(datoString).split(",") # Separamos los datos recibidos
        rms_corriente=(datos[0]) # Guardamos el valor de voltaje de la luz
        voltajee= (datos[1])
        p= (datos[2])
        fp= (datos[3])
        reactiva= (datos[4])
        s= (datos[5])
        c= c + 1
    # print ("Temperatura: "+temperatura+"°C Luz:"+luz+"V") # Imprimimos en consola lo que se va a enviar a
Thingspeak
    print ("Voltaje: "+voltajee+" V Intensidad:"+rms_corriente+"A") # Imprimimos en consola lo que se va a
enviar a Thingspeak
    # data.append(rms_corriente) # the data to plot
    # data.append(voltajee) # the data to plot
    # mio gh
    # data.append(p) # the data to plot
    # data.append(fp) # the data to plot
    # data.append(reactiva) # the data to plot
    # data.append(s) #
```

<b>ANEXO III.1</b>	<b>PROGRAMACIÓN EN PYTHON</b>	<b>HOJA 3 DE 3</b>
--------------------	-------------------------------	--------------------

```

for gh in range(7,120):
    data.append(datos[gh])
for gh in range(307,420):
    data2.append(datos[gh])
for gh in range(608,720):
    data3.append(datos[gh])
time.sleep(31)
#conn.request("https://api.thingspeak.com/update?key=%s&field1=%s&field2=%s&field3=%s&field4=%s&field5=%s&field6=%s" %(writeKey,voltajee,rms_corriente,p,fp,reactiva,s) , "GET") # Publicamos los datos en thingspeak
#data = [datos[1], datos[0], 1.0,0.73, datos[1], -0.7] # the data to plot
gplot("set terminal svg")
g2("set terminal svg")
g3("set terminal svg")
# gplot.hardcopy (filename='/tmp/dios9.png', terminal='png') # write
gplot.hardcopy (filename='/var/www/html/imagenes/grafica1.png', terminal='png') # write
g2.hardcopy (filename='/var/www/html/imagenes/grafica2.png', terminal='png') # write
g3.hardcopy (filename='/var/www/html/imagenes/grafica3.png', terminal='png') # write
#gplot.hardcopy (filename='/var/www/html/imagenes/grafica1.jpg', terminal='jpg') # write
#gplot("set output '/var/www/html/imagenes/grafica1.png'")
gplot.plot(data) # plot the data
#g2("set output '/var/www/html/imagenes/grafica2.png'")
g2.plot(data2) # plot the data
#g3("set output '/var/www/html/imagenes/grafica3.png'")
g3.plot(data3) # plot the data
conn.request("https://api.thingspeak.com/update?key=%s&field1=%s&field2=%s&field3=%s&field4=%s&field5=%s&field6=%s" %(writeKey,voltajee,rms_corriente,p,fp,reactiva,s) , "GET") # Publicamos los datos en thingspeak
time.sleep(11)
#for m in range(len(data)):
#    print data(m),

```

<b>ANEXO IV.1</b>	<b>PRÁCTICAS DE LABORATORIO</b>	<b>HOJA 1 DE 2</b>
-------------------	---------------------------------	--------------------

### **PRÁCTICA DE LABORATORIO # 1.**

#### **“Introducción al laboratorio de energías alternativas y sus elementos”**

Resultados de aprendizaje:

- Conocer el laboratorio de energías alternativas
- Conocer las herramientas que se tienen en el laboratorio
- Conocer los equipos que utilizan los sistemas fotovoltaicos

#### **Introducción.**

El laboratorio de energías alternativas está compuesto para alojar equipos y herramientas que permitan realizar instalaciones eléctricas que componen diferentes sistemas entre ellos tenemos el módulo experimental fotovoltaico.

Los componentes que se tienen en el módulo sirven para la captación de energía mediante 4 paneles de 50 W todos estos cumplen con unos determinados voltajes y corrientes para su correcto funcionamiento. Es por eso que se debe echar un vistazo del espacio y de los componentes a usarse en esta y el desarrollo de las demás prácticas.

Es de suma importancia tener en cuenta todas las recomendaciones, sugerencias o indicaciones brindados por el instructor.

#### **Desarrollo de la práctica.**

1.- Enumera las partes o equipos que se encuentran en el módulo para que cualquier sistema fotovoltaico empiece con la generación de energía.

---

---

---

---

---

---

---

Describe brevemente los equipos que enumeraste anteriormente partiendo de la explicación y definiciones que el docente expuso:

---

---

---

---

---

---

---

En la siguiente tabla describe las características de las placas de cada equipo enumerado en la primera pregunta para conocer el voltaje, corriente y potencia de trabajo.

Nombre del equipo	Voltaje (V)	Corriente (A)	Potencia (W)	Observación

**Conclusiones.**

Escribe al menos 3 conclusiones sobre los equipos necesarios para una instalación fotovoltaica y sobre las medidas de seguridad antes de ser conectados.

---

---

---

---

---

---

---

**Recomendaciones.**

Escribe las recomendaciones dadas por tu profesor

---

---

---

---

---

---

---

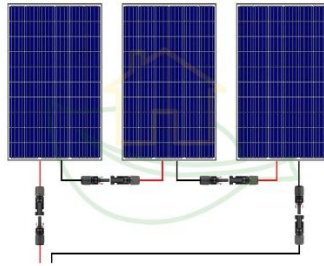
**PRACTICA DE LABORATORIO # 2.****“Conexión en serie y paralelo de los paneles solares para alimentación de una carga DC”**

Resultados de aprendizaje:

- Realizar una conexión serie de paneles solares
- Realizar una conexión en paralelo de paneles solares
- Alimentar cargas en DC

**Introducción.****CONEXIÓN SERIE.**

Es el método de conexión más sencillo, únicamente hay que conectar el terminal positivo del primer panel con el negativo del siguiente panel y así sucesivamente.

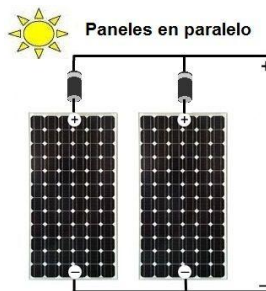


**¡Recuerda!** Los voltajes de las fuentes de un circuito serie se suman y la corriente se mantiene constante.

Ya que el controlador de carga solo tiene una capacidad de hasta 60 V, significa que puedes conectar hasta \_\_\_\_ # paneles solares de 17,21 V en serie, ya que si conectas 4 significa que tendrás un voltaje de \_\_\_\_\_ V superando el voltaje que soporta el controlador.

**CONEXIÓN PARALELO.**





La conexión se realiza al conectar el terminal positivo del primer panel con el del segundo y el negativo del primer panel con el del segundo y así sucesivamente si se requiere más de dos paneles.



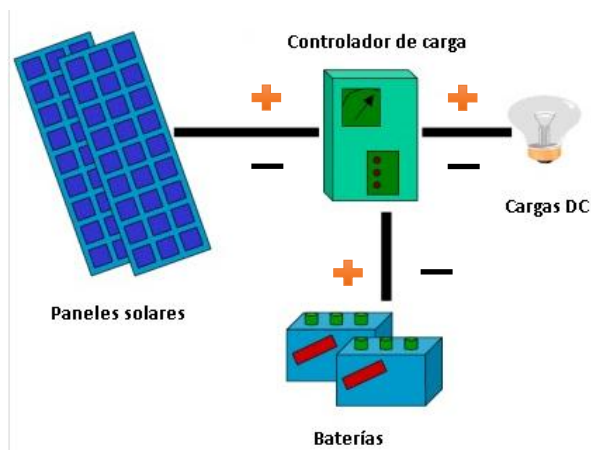
**¡Recuerda!** En la conexión en paralelo los voltajes de las fuentes (panel solar) se mantiene constante mientras que la corriente se suma.

Por lo tanto, si cada panel tiene una corriente de 2.91 A y un voltaje de 17.21 V la cantidad de paneles en paralelo que puedo conectar a el módulo es de \_\_\_\_\_# paneles solares.

**Desarrollo de la práctica.**

1. identifica los plug's de conexión de los paneles solares y realiza la conexión serie o paralelo	
Identifica el controlador de carga de las baterías y sus pines de conexión (plug's)	
Identifica las cargas en DC del módulo fotovoltaico	
Identifica el banco de baterías	

**Siguiendo el esquema conecta los elementos antes identificados**



En la siguiente tabla anota los valores de voltaje a la salida del controlador y el voltaje de las baterías al conectar 1, 2 y 3 cargas en DC

# Cargas	Voltaje (V) Controlador						Voltaje (V) Baterías					
	P. Serie			P. Paralelo			P. Serie			P. Paralelo		
	1 panel	2 paneles	3 paneles	2 paneles	3 paneles	4 paneles	1 panel	2 paneles	3 paneles	2 paneles	3 paneles	4 paneles
1 carga conectada												
2 cargas conectadas												
3 cargas conectadas												
Sin cargas												

**Conclusiones.**

Escribe como conclusión cual es el voltaje del controlador porque cambia o porque no, cual es la diferencia de voltaje cuando no hay cargas conectadas, que diferencia tendrá si se aumentará una carga tan grande como la capacidad del sistema.

---

---

---

---

---

---

---

---

**¿Coinciden?**

Pregúntale a tu profesor cual es la diferencia en el voltaje que existe entre un sistema en vacío con un sistema con una carga DC tan grande como pueda suministrar el sistema y saca las diferencias con tus conclusiones.

---

---

---

---

---

---

---

---

**¿Cuál es la mejor conexión serie o paralelo y con cuantos paneles, cuales son los parámetros a considerar?**

---

---

---

---

---

---

---

---

<b>ANEXO IV.3</b>	<b>PRÁCTICAS DE LABORATORIO</b>	<b>HOJA 1 DE 3</b>
-------------------	---------------------------------	--------------------

**Práctica de laboratorio No 3. Sistemas fotovoltaicos**

**Lectura y medición de los parámetros eléctricos del sistema fotovoltaico.**

**Resultados de aprendizaje:**

Realizar las mediciones de voltaje y corriente generada por un panel solar.

Medir voltaje a la entrada y salida del inversor.

Monitorear el comportamiento del voltaje en la salida del panel solar en diferentes ángulos o niveles de radiación.

**Introducción.**

En un sistema de energía solar fotovoltaico la fuente o el equipo empleado para la obtención de fuerza electromotriz (energía eléctrica) es el **panel solar**.

El tipo o la naturaleza del panel solar o módulo solar influye de manera importante en la calidad de la energía y su duración, los módulos solares tienen diferentes capacidades, así, se puede decir que, según el tipo de panel solar, tamaño, potencia, voltaje pico y corriente hacen que necesariamente varíe el precio y la duración.

El fundamento de esta práctica es conocer la forma física el generador e identificar los parámetros eléctricos de los paneles solares disponibles.

El método de fabricación de las celdas solares determina, en gran parte, la forma geométrica de las mismas. Las primeras versiones eran redondas, versiones más recientes tienen forma cuadrada, o casi cuadrada, donde las esquinas tienen vértices a 45°. La forma cuadrada permite un mayor compactado de las mismas dentro del panel FV, disminuyendo la superficie que se necesita para colocar un determinado número de células. En la tabla 1 se muestran los valores de eficiencia y los costos promedio de los tres tipos principales de paneles fotovoltaicos que se encuentran en el mercado.

Tabla 1. Eficiencia y costo de los paneles solares

Tipo de panel	Eficiencia (%)		Costo (€/W)
	Máxima	Comercial	
<b>Monocrystalino</b>	25	16	≈ 8
<b>Policristalino</b>	20	14	≈ 7
<b>Amorfo</b>	13	8	≈ 6

### Orientación de los Módulos FV:

Los módulos fotovoltaicos se colocan generalmente sobre los tejados o en patios. Un aspecto fundamental es cerciorarse de que ningún objeto proyecte su sombra sobre los módulos, al menos en las horas centrales del día.

La orientación de los módulos se define a partir de dos ángulos principales:

Ángulo azimutal de la superficie ( $\delta$ ): ángulo entre la proyección de la normal a la superficie en el punto horizontal y la dirección sur-norte (para localizaciones en el hemisferio norte) o norte-sur (para localizaciones en el hemisferio sur). Inclinación ( $\beta$ ): ángulo entre el plano de la superficie a considerar y la horizontal.

La máxima captación en los colectores solares con estructura y orientación fija, se logra colocando los módulos dirigidos hacia el Sur en el caso de una región en el hemisferio Norte, y hacia el Norte en el caso de ubicaciones en el hemisferio Sur ( $\delta = 0^\circ$ ). Esta configuración permite balancear las posibilidades de captación entre la mañana y la tarde si se suponen características similares de irradiación. Aunque una variación de hasta  $30^\circ$  en el azimutal puede provocar variaciones mínimas de alrededor de 1%. Con dicha orientación ( $\delta = 0^\circ$ ), la máxima captación en promedio anual se obtiene inclinando los paneles un ángulo igual a la latitud de la región en que se instalan. Las variaciones en la inclinación de  $\pm 15^\circ$  respecto al ángulo óptimo produce una reducción aproximada del 2,5% en la capacidad de captación del panel.

Si se desea maximizar la captación de energía en las mañanas, el panel deberá orientarse al Este ( $\delta \approx -75^\circ$ ) con una inclinación mayor de la acostumbrada (mayor que la latitud). En lugares en que existe

asimetría de radiación solar en las mañanas y en las tardes, por ejemplo, por el aumento de nubosidad en las tardes, provocan que el máximo de captación, no se logre con azimutal = 0°, sino con una orientación ligeramente hacia el Este.

En cualquier caso, es recomendable una inclinación mayor de 10°, para que el agua de lluvia pueda circular adecuadamente sobre el panel. Si se asumen algunas pérdidas, en muchos casos pequeñas, se tiene un abanico más amplio de posibilidades de orientación, lo que puede facilitar la instalación y mantenimiento de los módulos. Pero siempre debe buscarse que la orientación sea lo más cercana a la orientación que maximiza la captación anual ( $\delta = 0^\circ$ ,  $\beta = \text{latitud} > 10^\circ$ ).

### **Generador fotovoltaico.**

En algunos módulos, los fabricantes incluyen diodos de paso para protegerlos contra el fenómeno de “punto caliente”. La probabilidad de que un módulo FV sea dañado por este fenómeno es despreciable en sistemas CC de menos de 24V, por lo que el uso de tales diodos es irrelevante en esos casos.

Es preferible la instalación de los módulos FV sobre pedestales o paredes, que hacerlo sobre los tejados. Los montajes sobre pedestal o sobre pared generalmente permiten más fácil acceso a los módulos, sin poner en riesgo la estanqueidad del techo, y este tipo de instalación puede representar un grado de libertad adicional cuando se buscan localizaciones sin sombras para el generador fotovoltaico. Los montajes sobre tejados a veces permiten reducir costos y, por lo tanto, también pueden ser aceptados, a condición de dejar un espacio entre el techo y los módulos para que circule aire.

Los módulos fotovoltaicos con el mismo voltaje nominal pueden conectarse en paralelo sin ninguna restricción, por lo tanto, cuando se agranda un generador fotovoltaico sólo es necesario verificar la sección de los cables y la capacidad del regulador para manejar el nuevo valor de la corriente máxima.

### **Dimensionamiento de los Paneles.**

El tamaño del generador fotovoltaico debe asegurar que la energía producida durante el peor mes pueda, como mínimo, igualar a la demandada por la carga. Por lo que para dimensionar tanto los módulos como las baterías de un sistema FV autónomo, es necesario conocer las cargas a conectar (televisores, radios, etc.), la potencia nominal de cada una (P), el número de aparatos de determinado tipo (n) y las horas diarias de funcionamiento (t). El consumo diario (Cd), medido en Wh/día, para cada tipo de carga se calcula entonces de la siguiente forma.

$$Cd = P * n * t$$

Para sistemas FV domésticos, en que el generador se coloca en cerca de la vivienda, se calculan aparte las cargas en CC y en CA, ya que solo las de CA se conectan al inversor. En el caso que se pretenda alimentar varias viviendas a partir de una central FV, se considera que toda la energía producida deberá convertirse en corriente alterna en el inversor.

En este cálculo es necesario conocer la radiación solar diaria (H), medida en KWh/m<sup>2</sup>/día para cada mes del año en función de la localización geográfica e inclinación de los paneles y en base a datos estadísticos históricos de la zona.

Un concepto importante necesario para realizar el dimensionamiento de la cantidad de paneles necesarios en la instalación, es el número de horas pico solares, HPS, que se puede definir como 10 Días continuos en que la instalación deberá operar bajo una irradiación mínima (días nublados). Se consume una cantidad de energía mayor que la generada por el sistema FV.

La eficiencia del acumulador decrece en gran medida con ciclos profundos de carga y descarga. Se refiere al número de horas diarias de luz solar equivalentes referidas a una irradiación constante  $I=1\text{kWh/m}^2$ , a la cual se mide siempre la potencia de los paneles. Este un método para estandarizar la curva diaria de irradiancia solar, tal como se muestra en la figura 1. El área del rectángulo, definida a partir de las horas pico solares, es igual al área bajo la curva horaria de irradiancia real.

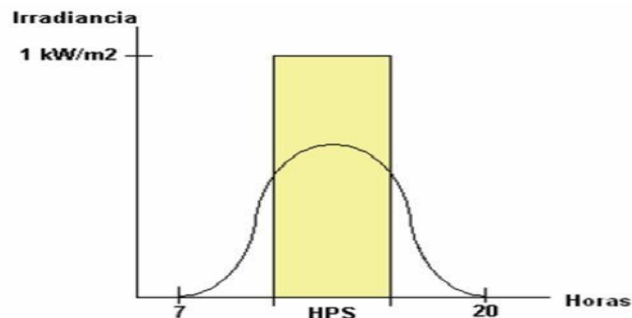


Figura 1. Definición de horas picos solares

La irradiación H (kWh/m<sup>2</sup>), es igual al producto de la irradiancia de referencia, I, y las horas pico solares, HPS. Como  $I=1\text{kWh/m}^2$ , se tiene entonces que los valores numéricos. La cantidad de energía producida por un panel a lo largo de todo el día, es equivalente a la energía que se produciría en las horas de pico solar si el panel opera a su potencia máxima o nominal ( $W_p$ ).

El número de paneles necesario ( $N_p$ ) se calcula empleando el número de horas pico solares del peor mes del año y la potencia pico del panel escogido:

$$N_p = \frac{E}{0.9 * W_p * HPS}$$

(2)

### **Pérdidas.**

Las principales pérdidas que pueden generarse en el generador fotovoltaico son debidas a sombras, temperatura de las celdas superior a los 25°C, elementos desparejos, pérdidas en cables, o diferencias significativas entre el voltaje de operación y el del punto de máxima potencia.

Estas pérdidas pueden compensarse inicialmente mediante una instalación cuidadosa, que permita una adecuada ventilación de los módulos y cables. Debe buscarse, además, que las características eléctricas de los módulos empleados permitan una adecuada recarga de las baterías en las condiciones climáticas particulares del lugar en que se instalan.

Con el fin de disminuir las pérdidas, deben considerarse los siguientes requerimientos:

El generador fotovoltaico debe estar totalmente libre de sombras durante por lo menos 8 horas diarias, centradas al mediodía, y a lo largo de todo el año.

El voltaje del punto de máxima potencia del generador fotovoltaico, a una temperatura ambiente igual a la máxima anual del lugar y a una irradiancia de 800 W/m<sup>2</sup>, debe estar comprendido en el rango de 14,5 a 15 V. Este último requisito, asegura que la corriente del generador FV sea mayor que la corriente en el punto de máxima potencia la mayor parte del tiempo; siempre que se cumplan los requisitos sobre las caídas de tensión en los cables y en el regulador de carga. Si

### **Proceso experimental.**

#### **EJERCICIO 1:**

Haciendo uso de los módulos de paneles solares realizar lo siguiente:

Definir la orientación que tiene el panel fotovoltaico en dirección (Sur, Norte-Sur, u Oeste)

Medir el ángulo de inclinación que se utiliza.

Completar la tabla 2 con los valores de voltaje obtenidos.

Tabla 2

<b>Ángulo</b>	<b>Voltaje</b>	<b>Observación</b>

Nota: Observe el comportamiento del panel solar ante una sombra

Realizar 30 mediciones en el panel solar de voltaje de entrada y salida en el regulador de carga durante un minuto

Realizar una estimación de descarga de la batería con respecto al tiempo

¿Qué tipos de paneles solares y baterías utilizaste, y cuáles son sus datos nominales?

Establece una comparación según el tipo de panel y datos nominales con los valores obtenidos experimentalmente

## **EJERCICIO 2**

Medir el consumo de corriente de un inversor en vacío y bajo carga (conectar dos focos) y llenar la tabla 3

Tabla 3.

<b>Corriente [A]</b>	<b>Tensión [V]</b>	<b>Observación</b>

### **ESCRIBE TUS CONCLUSIONES:**

Tarea de cálculo a resolver por equipos:

Dimensionar una instalación fotovoltaica atendiendo las características y cargas que se muestran en las tablas siguientes:

Equipo 1

<b>Cantidad</b>	<b>Lista de equipos</b>	<b>Potencia W</b>	<b>Horas de trabajo diaria</b>	<b>Total de Wh</b>	<b>Tensión V</b>
3	Luminarias	10	5		120
1	televisor	200	2		120
1	Bomba de gasoil	110	3		120

Equipo 2.

<b>Cantidad</b>	<b>Lista de equipos</b>	<b>Potencia W</b>	<b>Horas de trabajo diaria</b>	<b>Total de Wh</b>	<b>Tensión</b>
3	Luminarias	30	6		120
1	Nevera	400	10		120
1	Bomba de agua	110	2		120

Equipo 3. Considerar que la instalación funciona tres días de la semana

<b>Cantidad</b>	<b>Lista de equipos</b>	<b>Potencia W</b>	<b>Horas de trabajo diaria</b>	<b>Total de Wh</b>	<b>Tensión</b>
5	Luminarias	5	4		120
1	Molino	400	5		120

Equipo 4

<b>Cantidad</b>	<b>Lista de equipos</b>	<b>Potencia W</b>	<b>Horas de trabajo diaria</b>	<b>Total de Wh</b>	<b>Tensión</b>
5	Luminarias	15	5		120
1	Molino	200	4		120
1	Radio	20	10		120

Equipo 5

Cantidad	Lista de equipos	Potencia W	Horas de trabajo diaria	Total de Wh	Tensión, V
5	Luminarias	20	6		120
1	Bomba de agua	500	3		120

Equipo 6. Considerar que solo se utiliza los fines de semana (sábado y domingo)

Cantidad	Lista de equipos	Potencia W	Horas de trabajo diaria	Total de Wh	Tensión, V
3	Luminarias	10	7		120
1	Televisor	200	5		120
1	Bomba de agua	300	2		120

**Preguntas de autoevaluación**

- 1- ¿Qué diferencias existen entre los paneles monocristalino, policristalino y amorfos?
- 2- ¿Cómo determinar el consumo diario en la instalación fotovoltaica?
- 3- ¿Qué se entiende por horas picos solares HPS?
- 4- ¿Qué utilidad tienen la curva diaria de irradiancia?
- 5- ¿Cuál sería la forma más conveniente de conectar 6 paneles fotovoltaicos, si se desea obtener un voltaje de 24 VCD, cuando cada panel tiene datos nominales de generación de 12 VCD?
- 6- ¿Será más rápida la descarga de la batería utilizando AC Y DC? ¿Explique?

Anexo

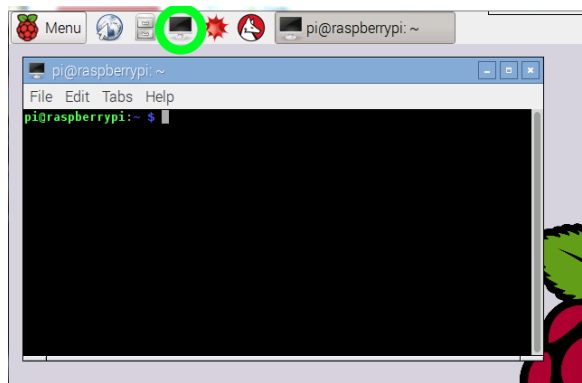
Datos de atlas solar de región de Loja a considerar para el dimensionamiento de los sistemas

Lon.	Lat.	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
-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

ANEXO V.1	INICIALIZACIÓN DEL MÓDULO	HOJA 1 DE 4
-----------	---------------------------	-------------

## INICIALIZACIÓN DEL MONITOREO DE PARAMETROS ELECTRICOS

- 1.- Conectar el cargador de la Raspberry pi sin que ningún otro cable o carga esté conectado. (a excepción del cable HDMI del monitor).
- 2.- Una vez que el sistema operativo (Raspbian) este inicializado se puede abrir el Terminal.



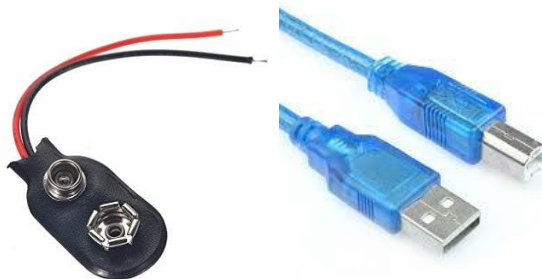
- 3.- Se escribirá el siguiente código para inicializar el programa creado en Python

```
$ sudo su
```

```
# cd /home/pi/Desktop/
```

```
# python medidor.py
```

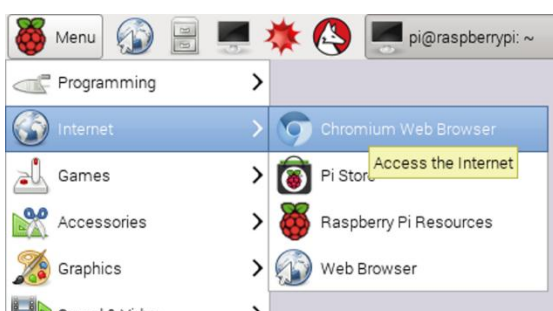
- 4.- Ahora podemos conectar la batería de 9 V que se encuentra dentro del estuche y el cable serial, desde cualquier USB disponible de la Raspberry al puerto serie del Arduino



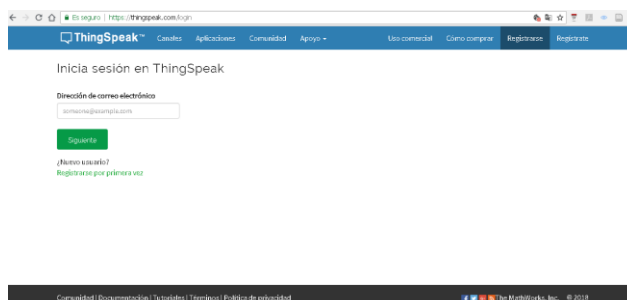
<b>ANEXO V.1</b>	<b>INICIALIZACIÓN DEL MÓDULO</b>	<b>HOJA 2 DE 4</b>
------------------	----------------------------------	--------------------

5.- Actualmente se ha inicializado el Arduino y los sensores, con este paso podemos conectar o enchufar cualquier tipo de carga que se quiera analizar.

6.- en este momento iniciaremos el navegador de internet e ingresaremos en la página de ThingSpeak (<https://thingspeak.com/>)



7.- Iniciaremos sesión con los siguientes datos de usuario y contraseña



Email Address:

[tesiscotopaxi2018@gmail.com](mailto:tesiscotopaxi2018@gmail.com)

Password:

**tesiscotopaxi18**

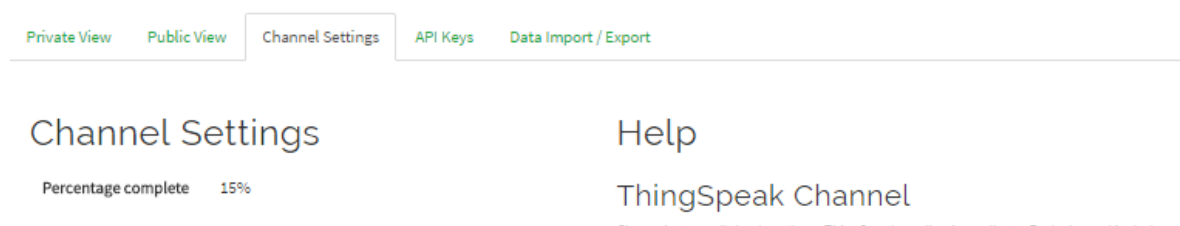
E ingresamos en el proyecto de NAME: **Medidor**

8.- En el caso de requerir que los datos de las gráficas sean dados desde el inicio de la práctica se deberá borrar el canal

ANEXO V.1	INICIALIZACIÓN DEL MÓDULO	HOJA 3 DE 4
-----------	---------------------------	-------------

De la siguiente manera

Damos clic en la pestaña **Channel Setting**



Damos clic en el botón rojo **Clear Channel** y volvemos a la pestaña **Private View** para visualizar las nuevas gráficas que se empiezan a formar.

Want to clear all feed data from this channel?

Clear Channel

**¡Precaución!**

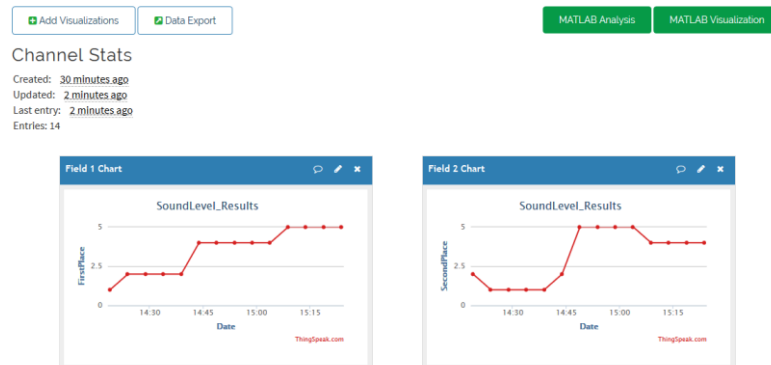
**De ninguna manera se debe dar clic en el botón rojo Delete Channel ya que este borraría toda la configuración de los canales.**

Want to delete this channel?

Delete Channel

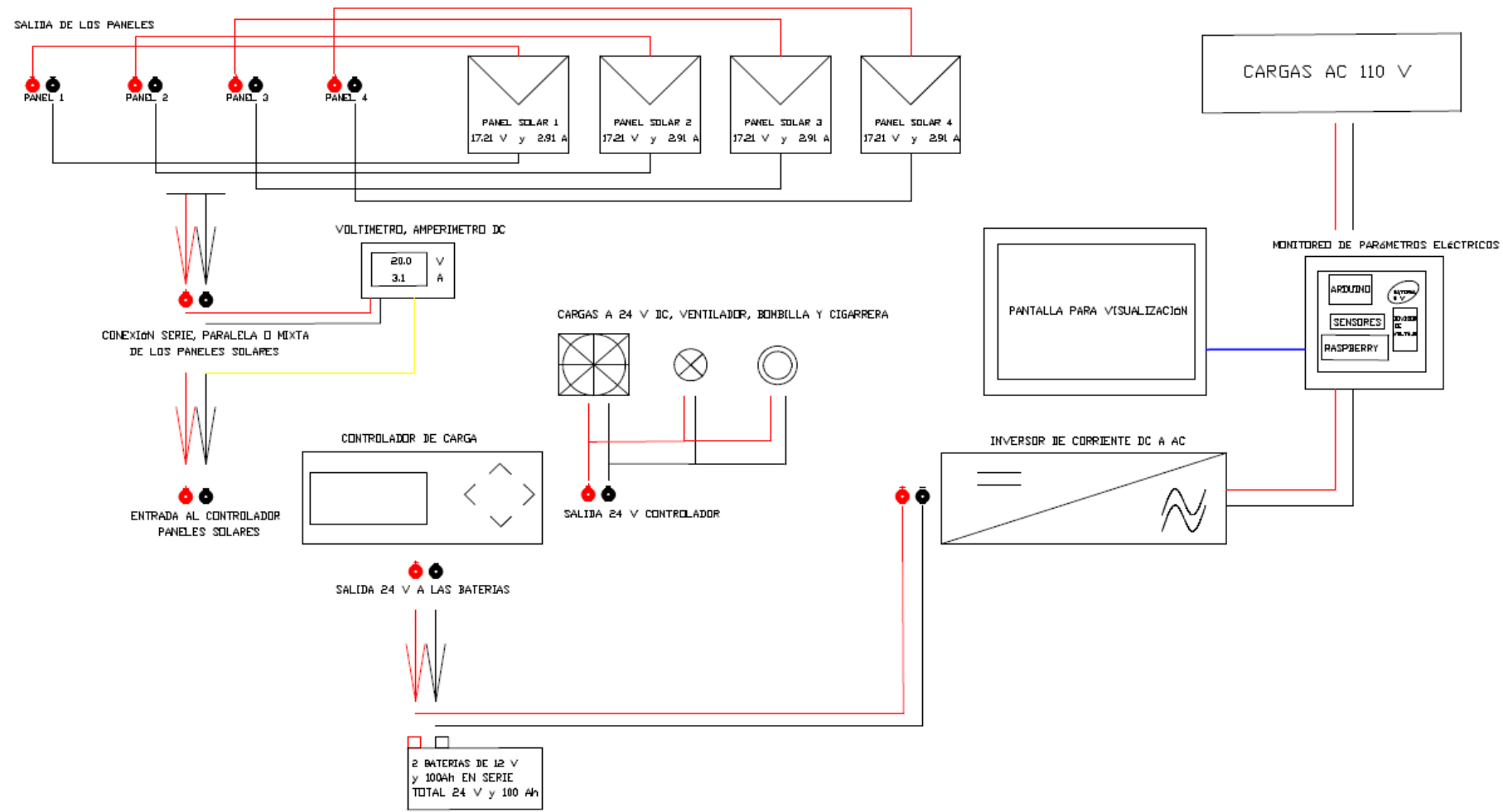
9.- Para descargar los datos a un archivo de hoja de cálculo se deberá estar en la pestaña Private o Public View para darle en el botón **Data Export**


<b>ANEXO V.1</b>	<b>INICIALIZACIÓN DEL MÓDULO</b>	<b>HOJA 4 DE 4</b>
------------------	----------------------------------	--------------------



10.- Al finalizar la práctica se deberá primero

- Desconectar las cargas AC
- Desconectar el cable serial que se encuentra conectado al Arduino con la Raspberry
- Y mandar apagar la Raspberry como una computadora normal desde la barra de inicio que tiene un icono de una morita 🍷 y luego en el botón Shutdown.
- **¡Precaución!** NO desconectar súbitamente el cargador de la Raspberry para apagarla.
- También se deberá desconectar la batería de 9 V y el cargador de la Raspberry





Firma

Estrella Tapia Diego Fernando

Proponente 1

Email: [estrellatdf@gmail.com](mailto:estrellatdf@gmail.com)

Telf.: 0992853301



Firma

Pazuña Naranjo William Paul

Proponente 2

Email: [paulpazu.w2@gmail.com](mailto:paulpazu.w2@gmail.com)

Telf.: 0987160509

Firma



PHD. Secundino Marrero Ramirez

PROFESOR TUTOR

Email: [Secundino.marrero@utc.edu.ec](mailto:Secundino.marrero@utc.edu.ec)

Telf.: 0987647713