



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS
INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA

PROPUESTA TECNOLÓGICA

**IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA PARA CARACTERIZACIÓN DE
LOS PARÁMETROS DE CORRIENTE-VOLTAJE Y POTENCIA-VOLTAJE
EN PANELES FOTOVOLTAICOS**

Propuesta Tecnológica presentada previo a la obtención del Título de Ingenieros en
Electromecánica.

Autores:

Chasi Toapanta Luis Jacinto

Pilatasig Ugsha Fredy Rubén

Tutor:

Ing. Luis Rolando Cruz Panchi. MSc.

LATACUNGA – ECUADOR

2022



Universidad
Técnica de
Cotopaxi



Ingeniería
Electromecánica

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Los postulantes, Chasi Toapanta Luis Jacinto y Pilatasig Ugsha Fredy Rubén declaran ser autores del presente Proyecto de Investigación: **“IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA PARA CARACTERIZACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE CORRIENTE-VOLTAJE Y POTENCIA-VOLTAJE EN PANELES FOTOVOLTAICOS”**, siendo el Ing. Luis Rolando Cruz Panchi. MSc., tutor del presente trabajo; se excluye expresamente a la Universidad Técnica de Cotopaxi y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

Además, se certifica que las ideas, conceptos, procedimientos y resultados vertidos en el presente trabajo investigativo, son de exclusiva autoría.

Latacunga, Marzo 2022.

AUTORES

Luis Jacinto Chasi Toapanta
C.C.: 050397488-3

Fredy Rubén Pilatasig Ugsha
C.C.: 172832558-8



Universidad
Técnica de
Cotopaxi



Ingeniería
Electromecánica

AVAL DEL TUTOR DE LA PROPUESTA TECNOLÓGICA

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

“IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA PARA CARACTERIZACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE CORRIENTE-VOLTAJE Y POTENCIA-VOLTAJE EN PANELES FOTOVOLTAICOS”, de los señores Chasi Toapanta Luis Jacinto y Pilatasig Ugsha Fredy Rubén, de la carrera de Ingeniería Electromecánica, 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 Académico de la Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas de la Universidad Técnica de Cotopaxi designe, para su correspondiente estudio y calificación.

Latacunga, Marzo 2022.

TUTOR

Ing. Luis Rolando Cruz Panchi. MSc.
C.C.: 050259517-6



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 Cotopaxi, y por la Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas; por cuanto, los postulantes: Chasi Toapanta Luis Jacinto y Pilatasig Ugsha Fredy Rubén con el título de Proyecto de Investigación: **“IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA PARA CARACTERIZACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE CORRIENTE-VOLTAJE Y POTENCIA-VOLTAJE EN PANELES FOTOVOLTAICOS”**, han considerado las recomendaciones emitidas oportunamente y reúne los méritos suficientes para ser sometido al acto de Sustentación del Proyecto.

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

Latacunga, Marzo 2022.

Para constancia firman:

Lector 1 (Presidente)
Ing. Cristian Fabián Gallardo. Mg.
C.C.: 050284769-2

Lector 2
Ing. Edwin Homero Moreano. Mg.
C.C.: 050260750-0

Lector 3
Ing. Segundo Ángel Cevallos. Mg.
C.C.: 050178243-7



Universidad
Técnica de
Cotopaxi



Ingeniería
Electromecánica

AVAL DE IMPLEMENTACIÓN DE LA PROPUESTA TECNOLÓGICA

CARRERA DE ELECTROMECAÁNICA



Latacunga, Marzo 2022

Quien suscribe, Ing. Cristian Gallardo Molina. MSc., en calidad de Director de la carrera de Electromecánica, de la Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas, de la Universidad Técnica de Cotopaxi, CERTIFICO que los Sres. Chasi Toapanta Luis Jacinto y Pilatasig Ugsha Fredy Rubén, realizaron en las instalaciones de la Facultad el proyecto tecnológico titulado: "IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA PARA CARACTERIZACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE CORRIENTE-VOLTAJE Y POTENCIA-VOLTAJE EN PANELES FOTOVOLTAICOS". En la ejecución de dicho proyecto los Sres. demostraron habilidades y conocimientos en su especialidad; así también generaron resultados que les serán de gran utilidad al área electromecánica, por cuanto se enfocaron en solucionar problemas inherentes a las energías alternativas y renovables, eficiencia energética y protección ambiental.

Durante el trabajo de campo los Sres. en mención se hicieron acreedores de nuestra confianza por la responsabilidad, honestidad y profesionalismo demostrado.

Es todo cuanto puedo certificar en honor a la verdad y autorizo a los interesados dar uso a este documento como estimen conveniente.

Atentamente;

Ing. Cristian Gallardo Molina
DIRECTOR DE LA CARRERA DE ELECTROMECAÁNICA

AGRADECIMIENTO

Agradezco en primer lugar a Dios y por haberme dado la vida, salud, así como, la fortaleza necesaria para ir cumpliendo mis metas cada día de mi existencia. Un enorme y sincero agradecimiento a mi tutor Ing. MSc. Luis Cruz por el gran apoyo brindado, confianza, amistad e importantes conocimientos compartidos, además de la paciencia puesta en el desarrollo de este proyecto. También, agradezco a las autoridades de la Universidad Técnica de Cotopaxi, por haber hecho posible el desarrollo del proyecto. Además, a todos los docentes que me transmitieron sus conocimientos y anécdotas profesionales. Finalmente, de manera muy especial agradezco a mi madre y mi familia por su apoyo incondicional en todo el lapso de mi vida y carrera profesional.

Luis

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por haberme dado la vida y permitirme demostrar que puedo realizar muchas cosas también por darme la oportunidad en la cual puedo demostrar mis habilidades y conocimientos de aprendizaje en el salón de clase de esta forma culminaría una de las etapas de mi vida. A mis padres por ayudarme moral y económicamente a ingresar a tan prestigioso establecimiento educativo, proporcionando en mi toda su confianza.

Fredy

DEDICATORIA

Dedico este proyecto a Dios por haberme dado la vida, y colmarme de sabiduría y así poder cumplir con el sueño tan anhelado de ser un profesional.

A mi querida madre por haberme apoyado de manera incondicional y a mi familia quienes fueron el pilar fundamental en mi vida como estudiante, a mi querida hija porque por ella es la razón de cada paso que doy y ahí está reflejado el esfuerzo y sacrificio que he dado para cumplir con mi promesa de ser un profesional

Luis

DEDICATORIA

Este trabajo de titulación está dedicado a Dios y a mis padres por haber forjado y apoyado para ser la persona que soy en la actualidad, muchos de los logros se los debo a ustedes entre ellos se los incluyo porque ustedes se sacrificaron para darme un buen futuro y por creer en mis capacidades a pesar de los momentos difíciles siempre me apoyaron.

A mis compañeros amigos y docentes que sin esperar nada a cambio compartieron su conocimiento alegrías y tristezas y a todas las personas que durante estos cinco años me brindaron su apoyo para lograr este sueño.

Fredy

ÍNDICE GENERAL

Contenido	Pág.
PORTADA	i
DECLARACIÓN DE AUTORÍA	ii
AVAL DEL TUTOR DE LA PROPUESTA TECNOLÓGICA	iii
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN.....	iv
AVAL DE IMPLEMENTACIÓN DE LA PROPUESTA TECNOLÓGICA.....	v
AGRADECIMIENTO	vi
AGRADECIMIENTO	vii
DEDICATORIA	viii
DEDICATORIA	ix
ÍNDICE GENERAL	x
ÍNDICE DE FIGURAS	xiii
ÍNDICE DE TABLAS.....	xiv
RESUMEN	xv
ABSTRACT	xvi
AVAL DE TRADUCCIÓN.....	xvii
1 INFORMACIÓN GENERAL.....	18
2 INTRODUCCIÓN	20
2.1 EL PROBLEMA	20
2.1.1 Situación problemática	20
2.1.2 Diagrama causa efecto	22
2.1.3 Formulación del problema	24
2.2 OBJETO DE ESTUDIO Y CAMPO DE ACCIÓN	24
2.2.1 Objeto de estudio	24
2.2.2 Campo de acción.....	24
2.3 BENEFICIARIOS	24
2.4 JUSTIFICACIÓN	24
2.5 HIPÓTESIS	25
2.5.1 Declaración de variables	25
2.5.2 Operacionalización de las variables.....	26
2.6 OBJETIVOS	27
2.6.1 General.....	27

2.6.2	Específicos	27
2.7	SISTEMAS DE TAREAS	27
3	FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA	30
3.1	ENERGÍA SOLAR	30
3.1.1	Radiación	30
3.1.2	Energía solar fotovoltaica	31
3.2	CÉLULA SOLAR FOTOVOLTAICA	33
3.3	FUNCIONAMIENTO DE UNA CÉLULA SOLAR	34
3.4	PARÁMETROS DE LA CÉLULA SOLAR	35
3.4.1	Corriente de cortocircuito (<i>ISC</i>)	36
3.4.2	Tensión de circuito abierto (<i>VOC</i>)	37
3.4.3	Punto de máxima potencia (<i>PM</i>)	37
3.4.4	Corriente en el punto de máxima potencia (<i>IM</i>)	38
3.4.5	La tensión en el punto de máxima potencia (<i>VM</i>)	38
3.4.6	Factor de relleno (FF)	38
3.4.7	Eficiencia (η)	38
3.4.8	Tecnologías fotovoltaicas	39
3.4.9	Factores que afectan a la potencia generada por las células solares	40
3.4.9.1	Eficiencia de conversión (η):	40
3.4.9.2	Cantidad de luz de entrada	40
3.4.9.3	Área de la célula	41
3.4.9.4	El ángulo de la luz (θ)	42
3.4.9.5	Temperatura de funcionamiento (T)	43
4	MATERIALES Y MÉTODOS	44
4.1	MÉTODOS	44
4.2	TÉCNICAS	45
4.3	INSTRUMENTOS	46
4.4	MATERIALES	46
4.5	MODELO DEL EXPERIMENTO	49
4.5.1	Comunicación MODBUS	50
4.5.2	Direcciones del MODBUS	51
4.5.3	Convertor RS485 a RS232	51
4.5.4	Velocidades de comunicación	52
4.5.5	Número de esclavos permitido	53

4.5.6	Servidor OPC	53
4.5.7	Kep Server	53
4.5.8	Software MATLAB	54
4.5.9	Diseño de la interfaz de usuario gráfica GUI	58
5	ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS	59
5.1	PRESUPUESTO	65
5.1.1	Costos directos	65
5.1.2	Costos indirectos.....	65
5.2	IMPACTOS	66
5.2.1	Impacto social	66
5.2.2	Impacto tecnológico.....	67
5.2.3	Impacto ambiental.....	67
6	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	68
6.1	CONCLUSIONES	68
6.2	RECOMENDACIONES.....	69
7	BIBLIOGRAFÍA	70

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1: Diagrama Ishikawa causa – efecto del problema.....	23
Figura 3.1: Circuito Eléctrico con Panel Solar (verano)	31
Figura 3.2: Circuito Eléctrico con Panel Solar (invierno).....	32
Figura 3.3: Central Fotovoltaica.....	33
Figura 3.4: Célula solar típica.....	34
Figura 3.5: Curva de I versus V de un panel solar	36
Figura 3.6: Parámetros de una célula solar y características de un panel fotovoltaico	36
Figura 3.7: Posición del panel y ángulo de la luz.....	42
Figura 3.8: Posición del panel y ángulo de la luz.....	44
Figura 4.1: Modelo del experimento práctico	50
Figura 4.2: Señal del conversor RS485 a RS232	52
Figura 4.3: Conexión Kep Server	54
Figura 4.4: Arquitectura del sistema de caracterización de los paneles fotovoltaicos	55
Figura 4.5: Comunicación TRH16-RS485 con el computador	55
Figura 4.6: Herramienta informática MATLAB 2020	56
Figura 4.7: Interfaz gráfica MATLAB	58
Figura 4.8: conexión TCs	58

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1: Beneficiario directos	24
Tabla 2.2: Beneficiario indirectos	24
Tabla 2.3: Operacionalización de la variable dependiente	26
Tabla 2.4: Operacionalización de la variable independiente	26
Tabla 2.5: Sistema de tareas en relación a los objetivos planteados	28
Tabla 3.1: Datos de I, V y P para la curva de parámetros de la célula solar	35
Tabla 3.2: Células fotovoltaicas disponibles en el mercado.....	39
Tabla 4.1: Selección de plataformas tecnológicas.....	47
Tabla 4.2: Hardware del sistema de caracterización de parámetros eléctricos	48
Tabla 4.3: Direcciones del protocolo MODBUS.....	50
Tabla 4.4: Direcciones MODBUS del equipo	51
Tabla 4.5: Velocidad de comunicación	53
Tabla 4.6: Ejemplo de número de esclavos	53
Tabla 4.7: Programación para caracterizar el voltaje, corriente y potencia	57
Tabla 5.1: Curva I-V panel Simax SP636-horario matutino	59
Tabla 5.2: Curva P-V panel Simax SP636-horario matutino	60
Tabla 5.3: Curva I-V panel Ving Solar Spectrum YL235P-horario matutino	61
Tabla 5.4: Curva P-V panel Ving Solar Spectrum YL235P-horario matutino.....	62
Tabla 5.5: Curvas de I-V y P-V de los paneles solares	64
Tabla 5.6: Costos directos del sistema de caracterización.....	65
Tabla 5.7: Costos indirectos del sistema de caracterización.	66
Tabla 5.8: Costo total del sistema de caracterización.....	66

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS

TÍTULO: “IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA PARA CARACTERIZACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE CORRIENTE-VOLTAJE Y POTENCIA-VOLTAJE EN PANELES FOTOVOLTAICOS”

Autores:

Luis Jacinto Chasi Toapanta

Fredy Rubén Pilatasig Ugsha

RESUMEN

La propuesta tecnológica tiene como objetivo la implementación de un sistema de caracterización de las curvas de operación I-V y P-V mediante el registro de mediciones de los parámetros eléctricos en los paneles fotovoltaicos para determinar la capacidad de producción en condiciones normales de operación. El estudio surge por el desconocimiento de parámetros eléctricos de corriente, voltaje de la estación fotovoltaica de 3 kW, limitando el monitoreo de la potencia máxima generada, así como las acciones de mantenimiento tras los años de vida útil utilizados. La metodología utilizada es de carácter aplicativo con el uso de los métodos bibliográfico, de campo, inductivo y deductivo. Los resultados demuestran que el grupo de paneles Simax SP636 en un horario matutino con condiciones climáticas nublada y eventos solares aleatorios, de 9:30 A.M. hasta las 13:30 P.M., ofrecen un voltaje promedio de 16,84 V y una corriente de 3,45 A; además de una potencia promedio de 57,50 W. Por su parte, el grupo de paneles Ving Solar Spectrum YL235P, en el mismo horario de medición develan un voltaje promedio de 19,13 V y corriente de 6,01 A, con una potencia de 114,68 W en un día templado y nublado con irradiación solar en el transcurso del medio día. Entre las conclusiones, destaca que el módulo es capaz de suministrar una potencia máxima de 227,8 W, bajo los efectos de una determinada irradiación $G=1 \text{ kW/m}^2$ y una temperatura $T=25^\circ\text{C}$, que se aproxima mucho al trabajo operativo de los paneles fotovoltaicos.

Palabras clave: Corriente, parámetros eléctricos, paneles fotovoltaicos, potencia, voltaje.

TECHNICAL UNIVERSITY OF COTOPAXI

FACULTY OF SCIENCE AND ENGINEERING APPLIED

TITLE: “IMPLEMENTATION OF A SYSTEM FOR THE CHARACTERIZATION OF CURRENT-VOLTAGE AND POWER-VOLTAGE PARAMETERS IN PHOTOVOLTAIC PANELS”

Authors:

Luis Jacinto Chasi Toapanta

Fredy Rubén Pilatasig Ugsha

ABSTRACT

The technological proposal aims to implement a system for the characterization of the I-V and P-V operating curves by recording measurements of electrical parameters in the photovoltaic panels to determine the production capacity under normal operating conditions. The study arises from the lack of knowledge of current electrical parameters, voltage of the 3 kW photovoltaic station, limiting the monitoring of the maximum power of these devices, as well as the maintenance actions after the years of useful life used. The methodology used is of an applicative nature with the use of bibliographic, field, inductive and deductive methods. The results show that the group of Simax SP636 panels in a morning schedule with cloudy weather conditions and random solar events, from 9:30 A.M. to 13:30 P.M., offer an average voltage of 16.84 V and a current of 3.45 A; besides an average power of 57.50 W. On the other hand, the group of Ving Solar Spectrum YL235P panels, in the same measurement schedule, showed an average voltage of 19.13 V and current of 6.01 A, with a power of 114.68 W in a temperate and cloudy day with solar radiation during the middle of the day. Among the findings, the module is capable of delivering a maximum power of 227.8 W under the effects of a given irradiance $G=1 \text{ kW/m}^2$ and a temperature $T=25^\circ\text{C}$, which is very close to the operating work of photovoltaic panels.

Keywords: Current, electrical parameters, photovoltaic panels, power, voltage.

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 al idioma Inglés del artículo científico cuyo título versa: **“IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA PARA CARACTERIZACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE CORRIENTE-VOLTAJE Y POTENCIA-VOLTAJE EN PANELES FOTOVOLTAICOS.”** presentado por: **Luis Jacinto Chasi Toapanta y Fredy Rubén Pilatasig Ugsha**, estudiantes de la Carrera de **Ingeniería Electromecánica** perteneciente a la **Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas** lo realizaron bajo mi supervisión y cumple con una correcta estructura gramatical del Idioma.

Es todo cuanto puedo certificar en honor a la verdad y autorizo a los peticionarios hacer uso del presente aval para los fines académicos legales.

Latacunga, 21 marzo del 2022

Atentamente,



CENTRO
DE IDIOMAS

Mg. Marco Paúl Beltrán Semblantes

DOCENTE CENTRO DE IDIOMAS-UTC
CI: 0502666514

1 INFORMACIÓN GENERAL

Título del Proyecto

IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA PARA CARACTERIZACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE CORRIENTE-VOLTAJE Y POTENCIA-VOLTAJE EN PANELES FOTOVOLTAICOS.

Fecha de inicio: octubre de 2021.

Fecha de finalización: marzo de 2022.

Lugar de ejecución: Zona 3, parroquia Eloy Alfaro, barrio San Felipe, cantón Latacunga, provincia de Cotopaxi, Universidad Técnica de Cotopaxi.

Facultad que auspicia: Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas.

Carrera que auspicia: Ingeniería Electromecánica

Proyecto de investigación vinculado: Energías alternativas

Equipo de Trabajo:

Tutor del proyecto de investigación:

Nombre: Ing. Luis Rolando Cruz Panchi. MSc.

Celular: 0984518484

Cédula de Ciudadanía: 050259517-6

Correo electrónico: luis.cruz@utc.edu.ec

Coordinador uno del proyecto de investigación:

Nombre: Luis Jacinto Chasi Toapanta

Celular: 0995945246

Cédula de Ciudadanía: 050397488-3

Correo electrónico: luis.chasi4883@utc.edu.ec

Dirección: La Matriz, cantón Latacunga, provincia de Cotopaxi.

Coordinador dos del proyecto de investigación:

Nombre: Fredy Rubén Pilatasig Ugsha

Celular: 0983166089

Cédula de Ciudadanía: 172832558-8

Correo electrónico: fredy.pilatasig5588@utc.edu.ec

Dirección: La Matriz, cantón Latacunga, provincia de Cotopaxi.

Campo Amplio:

- 07-Ingeniería, Industria y Construcción.

Campo Específico:

- 071-Ingeniería y Profesiones Afines.

Campo Detallado:

- 0713-Electricidad y energía
- 0714-Electrónica y automatización

Línea de investigación:

De acuerdo a lo establecido por el departamento de investigación de la Universidad Técnica de Cotopaxi, línea 6: Energías alternativas y renovables, eficiencia energética y protección ambiental. El proyecto está inmerso en la implementación de un sistema de caracterización de corriente-voltaje y potencia-voltaje en paneles fotovoltaicos.

Sublíneas de investigación de la carrera:

- Energética en sistemas electromecánicos y uso de fuentes renovables de energía.

El proyecto de investigación se acoge a las anteriores líneas y sublíneas de investigación, al encontrarse como directrices principales el monitoreo de parámetros eléctricos relacionados con la ingeniería energética en una planta fotovoltaica, a través del conocimiento de las áreas de los sistemas mecatrónicos, electromecánicos y electrónicos.

2 INTRODUCCIÓN

El desconocimiento de la producción energética actual de la estación fotovoltaica de 3 kW ocasiona que el operador no disponga de datos del estado actual de los paneles solares lo cual no permite tener un criterio acertado para una toma de decisiones para el mejoramiento de la planta fotovoltaica, por lo cual, se cree conveniente la implementación de un sistema de caracterización de los parámetros eléctricos de I-V y P-V que permitirá tener las curvas de operación y datos de producción actual de los paneles solares de la estación, facilitando un mejor control de la estación.

2.1 EL PROBLEMA

2.1.1 Situación problemática

En la actualidad, en todo el mundo existen proyectos para el incremento de producción de energías renovables; entre ellas, la más importante es la energía solar que hace uso de paneles fotovoltaicos para convertir la irradiación de los rayos ultravioletas en energía eléctrica. Estos sistemas denominados plantas fotovoltaicas pueden satisfacer el constante aumento de las necesidades energéticas, disminuyendo la dependencia de los combustibles fósiles, con ello reducir la contaminación; siempre y cuando el sistema fotovoltaico disponga de un sistema de caracterización de las curvas de operación de parámetros eléctricos I-V y P-V para mantener operativos los paneles solares y en constante monitoreo de su funcionalidad [1].

De esta manera, muchas instalaciones de plantas fotovoltaicas en el Ecuador no disponen de sistemas de caracterización de los parámetros eléctricos para generar las curvas de I-V y P-V, lo que complica la deficiente toma de decisiones con respecto al mantenimiento y el trabajo óptimo de los paneles solares, debido a estos problemas la generación energética de las plantas solares disminuye, no solo por los años de trabajo de los módulos, sino también por los efectos de la suciedad y reflexión en la superficie de los módulos fotovoltaicos, errónea ubicación del ángulo azimut o equivocada configuración del seguidor solar electromecánico; además, sombreado en las células de los paneles, entre otras cosas; todo esto disminuye el rendimiento

y la producción de energía eléctrica, cuando no hay un monitoreo constante para la toma de decisiones [2].

Por otra parte, la falta de información de las curvas de operación de parámetros eléctricos I-V y P-V reduce el control y verificación de la potencia máxima que pueden ofertar los paneles fotovoltaicos, debido a que la respuesta espectral puede ser diferente a la irradiancia, según la eficiencia de conversión de energía que disminuye proporcionalmente al reducir el reflejo de la luz incidente por la mala orientación, inclinación, condiciones climáticas y latitud del lugar [3], la ausencia de operaciones y monitorización de la planta fotovoltaica incide en el análisis de un panel solar, porque no existe una descripción de la naturaleza de su funcionamiento; que trabaja según sus curvas de I-V y P-V facilitando el entendimiento e interpretación del comportamiento del panel, para la toma de decisiones, así como para el mantenimiento.

Las plantas fotovoltaicas que no disponen de un sistema de caracterización de curvas de operación de parámetros eléctricos I-V y P-V, se puede decir que están trabajando a “ciegas” porque no tienen las gráficas donde se pueda comprobar el estado de funcionamiento de los módulos solares, con respecto a las especificaciones que otorga el fabricante, también se desconoce un aspecto importante de los sistemas fotovoltaicos, como es su eficiencia en las celdas monocristalinas ya que son las más eficientes, superan a un 20%; seguidas por las policristalinas, la mayoría de los paneles que se fabrican en la actualidad captan hasta un 16 % de la energía disponible del sol [4].

En Ecuador los sistemas de generación fotovoltaicos son sumamente escasa y los diferentes sistemas instalados, se encuentran ubicados principalmente en poblaciones rurales completamente alejadas donde no es posible llevar energía eléctrica por medio de las redes de las diferentes empresas eléctricas de distribución [5]. La otra parte de plantas solares, se disponen en empresas e instituciones de educación superior, lamentablemente la mayoría de estos sistemas no poseen sistemas de caracterización de las curvas de operación de parámetros eléctricos I-V y P-V, lo que repercute en las métricas de producción energética que tienen las plantas fotovoltaicas en esos sectores, debido a que los equipos de medición se tienden a quedar olvidados en este tipo de instalaciones, al tener estas plantas fotovoltaicas un trabajo autónomo, sin estar conectados a la red pública.

Por otra parte, según las estadísticas nacionales el valor medio aproximado de la radiación solar global en el Ecuador es de $4.575 \text{ Wh/m}^2/\text{día}$. El potencial solar estimado con fines de

generación eléctrica en el país es de 312 GW equivalente a 456 TWh por año o 283 MBEP (millones de barriles equivalentes de petróleo) por año. Este valor equivale aproximadamente a quince (15) veces el potencial hidroeléctrico técnico y económicamente aprovechable del país [6]. Por tal razón, las plantas fotovoltaicas deberían construirse con sistemas de caracterización de curvas de operación de parámetros eléctricos I-V y P-V para aprovechar al máximo el monitoreo y control de los módulos fotovoltaicos, que puedan llegar a sustentar en un futuro la energía del país.

Lamentablemente, a pesar de la gran potencia explotable de energía fotovoltaica que podría aprovechar el país, no se utiliza ni siquiera un bajo porcentaje; peor aún ese porcentaje dispone de equipos de monitoreo o medición que caractericen las curvas de operación de parámetros eléctricos I-V y P-V, produciendo un desconocimiento en el comportamiento de las plantas solares y mucho más de la operatividad de los paneles fotovoltaicos que integran la tecnología de generación eléctrica. En este sentido, la carencia de información rezaga las etapas de mantenimiento de los módulos solares, reduce la configuración del ángulo adecuado para el aprovechamiento de gran parte de la irradiación solar; no se conoce la eficiencia fotovoltaica que asegura que es rentable una instalación fotovoltaica, demostrando la proporción de energía solar que se convierte en energía eléctrica.

Típicamente, las celdas fotovoltaicas presentan una eficiencia de conversión de entre 12% y 25%, donde el porcentaje restante es disipado como energía calórica sobre su estructura, lo que incrementa su nivel de temperatura. El incremento de suciedad, roturas, daño de materiales, sombra arbitraria, etc.; además proporcionan la subida de temperatura en los módulos; mismo que al prolongarse origina fallas en su funcionamiento [7]. Estos problemas son revelados típicamente en la caracterización de las curvas de operación de parámetros eléctricos I-V y P-V de los paneles fotovoltaicos, pero si no se dispone de un sistema de este tipo, no se puede conocer la operación de los módulos solares, con curvas o métricas de campo, se desconoce la producción energética que está generando, la criticidad de los equipos o las necesidades de mantenimiento preventivo, correctivo o predictivo que se requieran aplicar.

2.1.2 Diagrama causa efecto

En la figura 2.1 se muestra el diagrama de causa efecto del problema. En esta figura se puede analizar que el problema que demanda la investigación, es el desconocimiento de la capacidad de producción de I-V y P-V en paneles solares debido, entre las causas al tiempo de vida útil de los equipos que están provocando fallas en el funcionamiento.

Otra de las directrices del problema son las métricas, debido a la falta de equipos analizadores de corriente y voltaje en la planta fotovoltaica, lo que origina que las instalaciones solares lleguen a un punto de eficacia por no disponer de información que permita valorar su funcionalidad. También, la ausencia de medidas de corriente, voltaje y potencia tiene como efecto la ausencia de la caracterización de curvas de I-V y P-V.

La irradiación solar y los parámetros eléctricos que fluctúan con el pasar del día, y que nos efectivamente controlado con el seguidor solar, provocan un desconocimiento en la potencia máxima generado, factor muy importante para determinar el comportamiento de la planta.

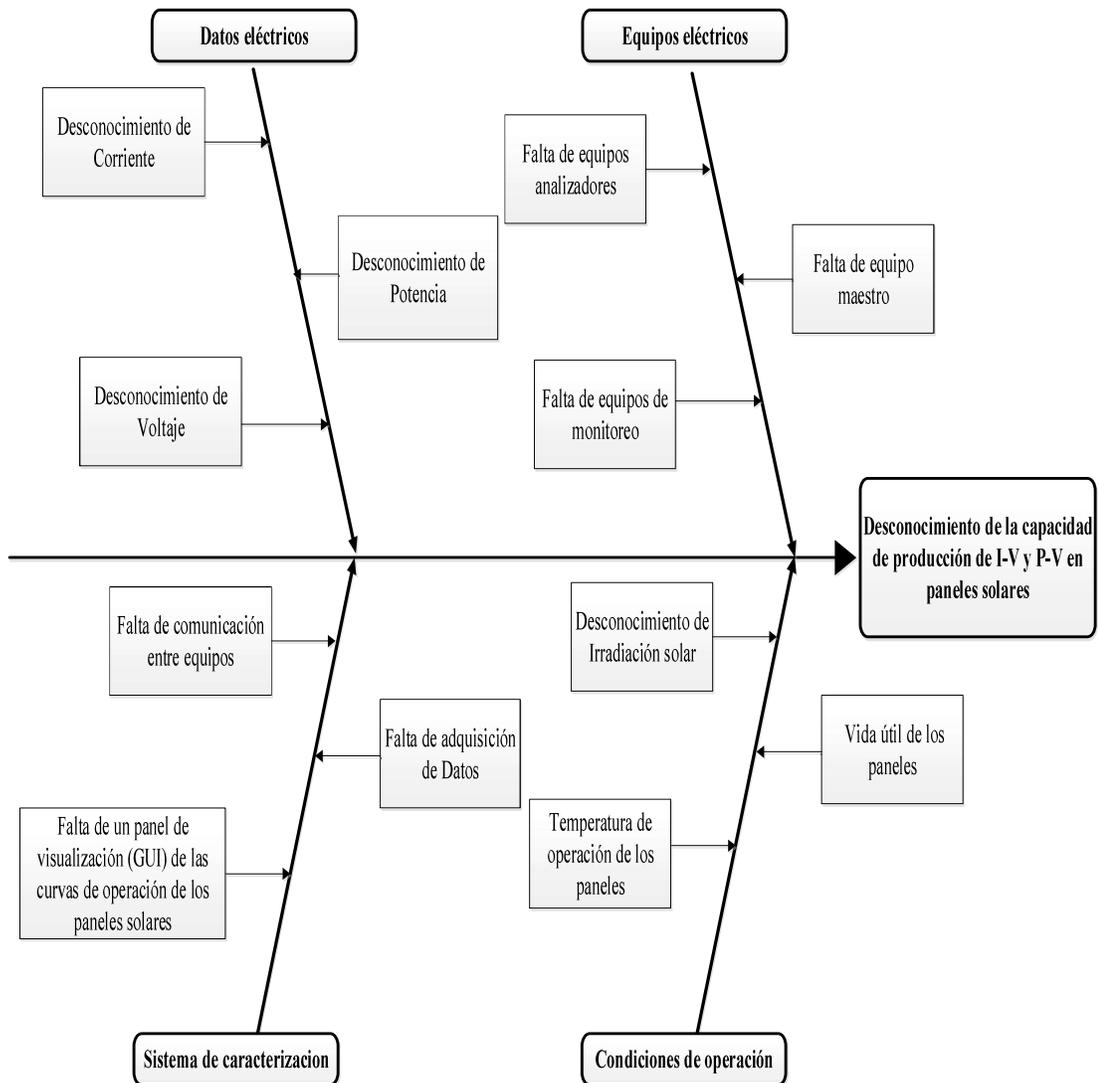


Figura 2.1: Diagrama Ishikawa causa – efecto del problema

2.1.3 Formulación del problema

El desconocimiento de la capacidad de producción de corriente-voltaje y potencia- voltaje en paneles solares.

2.2 OBJETO DE ESTUDIO Y CAMPO DE ACCIÓN

2.2.1 Objeto de estudio

El objeto de estudio de esta propuesta tecnológica es una estación fotovoltaica de 3 kW.

2.2.2 Campo de acción

El campo de acción está constituido por:

330000 Ciencias Tecnológicas / 3311 Tecnología de la Instrumentación/ 3311.99 Dispositivos de monitoreo

2.3 BENEFICIARIOS

En este sentido, los beneficiarios directos están comprendidos en los postulantes de la propuesta tecnológica; mientras que los beneficiarios indirectos serán los respectivos estudiantes de la carrera de Electromecánica. La tabla 2.1 muestra el número de personas que se benefician directamente.

Tabla 2.1: Beneficiario directos

BENEFICIARIOS DIRECTOS	
Postulantes	02

La tabla 2.2 detalla el número de personas que se benefician indirectamente.

Tabla 2.2: Beneficiario indirectos

BENEFICIARIOS INDIRECTOS	
Carrera de Electromecánica	168

2.4 JUSTIFICACIÓN

La implementación de un sistema de obtención de curvas de operación de paneles fotovoltaicos se hace con el propósito de tener un medio de visualización del comportamiento de los módulos, con respecto a la I-V y P-V para determinar la capacidad de producción de los paneles solares,

información que será de gran ayuda para la toma de decisiones con respecto al mantenimiento de los equipos y de la red, la configuración del seguidor solar y el ángulo azimut que está dispuesto la planta.

Un sistema de monitoreo que trabaja con el analizador de tensión y corriente TRH16-RS485, ayuda a los operarios a visualizar de manera gráfica la producción energética de la planta y con ello la toma de decisiones con respecto al mantenimiento, así contribuir a mejorar la microred de energía alternativa para beneficio del aprendizaje de los estudiantes, quienes pueden elevar sus conocimientos al realizar prácticas con estos equipos del laboratorio.

El sistema beneficiará a los estudiantes de las carreras profesionales de CIYA, particularmente a los estudiantes de la rama de Electromecánica que utilizan el Laboratorio de Energías Renovables para sus prácticas de asignatura, aprender sobre el analizador de redes TRH16-RS485 de corriente continua. Además, el impacto de la propuesta es relevante, a propósito de la vanguardia tecnológica mundial por el cambio de la producción de energía eléctrica con combustibles fósiles a energías limpias en beneficio del medio ambiente, los sistemas fotovoltaicos son la tecnología que está creciendo en las Smart Grid.

La aplicación del sistema permitirá una toma de datos de los parámetros eléctricos voltaje, corriente, potencia; para a través de una gráfica en MATLAB determinar el comportamiento de los paneles en comparativa a un panel recién sacado de fábrica, proporcionando un sistema de monitoreo que ayuden a los operarios a visualizar la potencia máxima según los eventos de irradiación solar durante el día.

2.5 HIPÓTESIS

Con la implementación de un sistema de obtención de las curvas de operación de parámetros eléctricos (I-V, P-V), permitirá conocer la capacidad de producción energética actual de la estación fotovoltaica.

2.5.1 Declaración de variables

Para el desarrollo de la propuesta tecnológica se ha visto necesario la identificación de las variables dependiente como el “desconocimiento de la capacidad de producción de I-V y P-V en paneles solares”, y la variable independiente como “sistema de caracterización de paneles solares”, por medio del diagrama causa efecto como se muestra en la figura 2.1.

2.5.2 Operacionalización de las variables

La tabla 2.3 muestra la operacionalización de la variable independiente; variable que encamina el desarrollo técnico de la propuesta tecnológica; las variables parten del tema y la hipótesis propuesta. Desconocimiento de la capacidad de producción de I-V y P-V en paneles solares.

Tabla 2.3: Operacionalización de la variable dependiente

Variable dependiente	Conceptualización	Dimensión	Indicadores	Técnica o Instrumentos
Desconocimiento de la capacidad de producción de I-V y P-V en paneles solares	La capacidad de producción de los paneles solares es la cantidad de energía genera a una determinada condición de operación.	Corriente (A)	Cantidad de corriente generada por el panel medida en amperios	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Observación. ▪ Multímetro ▪ Analizador TRH16-RS485 ▪ TCS
		Voltaje (V)	Cantidad de voltaje generada por el panel medida en voltios	
		Potencia (w)	Cantidad de potencia generada por el panel medida en Watts	

Por su parte, la tabla 2.4 muestra la operacionalización de la variable dependiente que se acredita al sistema de caracterización de paneles solares.

Tabla 2.4: Operacionalización de la variable independiente

Variable Independiente	Conceptualización	Dimensión	Indicadores	Técnica o Instrumentos
Sistema de caracterización de paneles solares	Es una Interfaz Gráfica de Usuario (GUI) que permite la generación de curvas de operación de la I-V y de la P-V en los paneles solares a través de la comunicación de entre equipos	Visualización de curvas de operación	Curva de corriente vs voltaje	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Observación. ▪ Computador. ▪ Software ▪ Analizador TRH16-RS485 ▪ TCS
			Curva de Potencia vs voltaje	
		Software y hardware	Software de programación	
			Programa de monitoreo	

2.6 OBJETIVOS

2.6.1 General

- Implementar un sistema para la caracterización de las curvas de operación corriente-voltaje y potencia-voltaje, mediante el registro de mediciones de los parámetros eléctricos en los paneles fotovoltaicos para monitorear la capacidad de producción de la estación fotovoltaica en condiciones reales de operación.

2.6.2 Específicos

- Levantar información mediante revisión bibliográfica e inspección visual para el funcionamiento de sistemas de generación de curvas de operación corriente-voltaje y potencia-voltaje en paneles fotovoltaicos.
- Diseñar un sistema capaz de adquirir y procesar los datos de los parámetros eléctricos corriente, voltaje y potencia en los paneles fotovoltaicos mediante el analizador TRH16 y el programa MATLAB para generar las curvas I-V y P-V de operatividad.
- Aplicar el sistema de caracterización de curvas de operación de I-V y P-V en los paneles Simax SP636 y Ving Solar Spectrum YL235P en horario matutino por medio de una comunicación serial RS485 a USB para visualizar en las curvas; la corriente, el voltaje y la potencia máxima.
- Evaluar la operatividad de la planta de generación fotovoltaica a través de pruebas de funcionamiento con el sistema de caracterización diseñado en MATLAB para la generación de curvas de los parámetros eléctricos I-V y P-V.

2.7 SISTEMAS DE TAREAS

El sistema de tareas en relación a los objetivos planteados se detalla en la tabla 2.5, todas las actividades sintetizan la implementación del sistema de caracterización de corriente-voltaje y potencia-voltaje en paneles fotovoltaicos.

Tabla 2.5: Sistema de tareas en relación a los objetivos planteados

OBJETIVOS ESPECÍFICOS	ACTIVIDAD	RESULTADO DE LA ACTIVIDAD	MÉTODOS-TÉCNICAS
<p>Objetivo 1:</p> <p>Levantar información mediante revisión bibliográfica e inspección visual para conocer el funcionamiento de sistemas de generación de curvas de operación corriente-voltaje y potencia-voltaje en paneles fotovoltaicos.</p>	<p>a.- Reconocer el proceso de funcionamiento de los paneles fotovoltaicos.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Diagnosticar la situación actual de la planta fotovoltaica 	<p>Investigación de campo: Matriz de criticidad de componentes.</p>
	<p>b.- Identificar las variables intervinientes en la red de paneles fotovoltaicos.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Conocer las entradas, salidas de los dispositivos de medición. 	<p>Investigación de campo: Diagrama de componentes de la planta fotovoltaica.</p>
	<p>c.- Elaborar un flujograma para la caracterización de parámetros eléctricos.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Realizar un diagrama de bloques sobre la estructura del sistema de caracterización de parámetros eléctricos. 	<p>Investigación de campo y bibliográfica: Diagrama de la estructura del sistema de caracterización</p>
<p>Objetivo 2:</p> <p>Diseñar un sistema capaz de adquirir y procesar los datos de los parámetros eléctricos corriente, voltaje y potencia en los paneles fotovoltaicos mediante el analizador TRH16 y el programa MATLAB para generar las curvas I-V y P-V de operatividad.</p>	<p>a.- Seleccionar la plataforma tecnológica para la caracterización y monitoreo de los parámetros eléctricos en paneles fotovoltaicos</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Identificar características de las tarjetas electrónicas destinadas a la adquisición de datos 	<p>Inductivo-Deductivo: Matriz de plataformas tecnológicas.</p>
	<p>b.- Seleccionar el hardware necesario para implementar el sistema de caracterización de señales de voltaje, corriente y potencia.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Establecer los componentes necesarios para el experimento práctico. 	<p>Observación: Arquitectura del sistema.</p>

	<p>c.- Analizar el software útil para implementar el sistema de caracterización de señales de voltaje, corriente y potencia.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Configurar librerías y algoritmos necesarios para la operatividad del sistema experimento práctico. 	<p>Inductivo-Deductivo: Diagrama de flujo. Algoritmos de programación.</p>
<p>Objetivo 3: Aplicar el sistema de caracterización de curvas de operación de I-V y P-V en los paneles Simax SP636 y Ving Solar Spectrum YL235P en horario matutino por medio de una comunicación serial RS485 a USB para visualizar en las curvas; la corriente, el voltaje y la potencia máxima.</p>	<p>a.- Construir un experimento práctico de sistema de generación de curvas de operación de parámetros eléctricos.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Verificación del experimento práctico para la ejecución del proyecto. 	<p>Inductivo-Deductivo: Bitácora de pruebas del experimento práctico.</p>
	<p>b.- Automatizar el experimento práctico en una GUI para la operación intuitiva del usuario.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Implementar y evaluar el experimento práctico en la planta fotovoltaica de la UTC. 	<p>Observación, Deductivo: Realizar un registro fotográfico.</p>
<p>Objetivo 4: Evaluar la operatividad de la planta de generación fotovoltaica a través de pruebas de funcionamiento con el sistema de caracterización diseñado en MATLAB para la generación de curvas de los parámetros eléctricos I-V y P-V.</p>	<p>a.- Realizar pruebas de funcionamiento del sistema de generación de curvas de operación de los paneles solares</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Estimar pruebas en diferentes horarios y condiciones solares 	<p>Inductivo-Deductivo: Matriz de curvas.</p>

3 FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

Los siguientes numerales de la propuesta tecnológica detallan el argumento científico y técnico de la implementación del sistema de caracterización de corriente-voltaje y potencia-voltaje en paneles fotovoltaicos.

3.1 ENERGÍA SOLAR

La energía del sol obtiene su nombre porque opera con el uso directo de la radiación solar para generar calor y a su vez producir la electricidad para el consumo. El calor se obtiene mediante colectores térmicos, y la electricidad a través de paneles fotovoltaicos [8].

La energía solar es una de las fuentes de energía que más desarrollo está experimentando en los últimos años y que más expectativas tiene para el futuro [3].

Fundamentalmente, acumulando de manera correcta la irradiación del sol, se logra conseguir una mayor temperatura y con ello producir energía eléctrica.

El aumento de temperatura se consigue a través de las placas o acumuladores térmicos, y la generación de energía, por medio de los denominados paneles solares. Ambos procesos nada tienen que ver entre sí, ni en cuanto a su tecnología ni en su aplicación [9].

3.1.1 Radiación

El sol irradia permanentemente grandes proporciones de energía; una parte de esta llega al planeta. El valor de energía proveniente del sol, que se irradia en un día, logra ser la misma cantidad que se necesitaría para proporcionar energía durante 365 días a toda la población del mundo. Por otro lado, la energía que irradia el sol no se la puede utilizar en su totalidad de forma eficiente. Parte de la luz solar es absorbida en la atmósfera terrestre o, reflejada nuevamente al espacio [10].

La irradiación solar que llega a la tierra fluctúa en base al instante del día y de la estación o época del año, la localidad y el tiempo. El poder de intensidad que da el sol en referencia a un tiempo diario o anual se llama “radiación” y revela la potencia de la luminosidad. La radiación se expresa en Wh/m^2 por día o, también, en kWh/m^2 por día [11].

En el propósito de minimizar los cálculos efectuados en referencia a los datos de la radiación, la energía que proviene del sol se indica en la equivalencia a horas de radiación solar. La luz

solar plena registra una potencia de unos $1,000 \text{ W}/\text{m}^2$; por lo tanto, una hora de luz solar plena equivale a $1 \text{ kWh}/\text{m}^2$ de energía solar pura terrestre [12].

Ésta es, aproximadamente, la cantidad de energía solar registrada durante un día soleado de verano, con cielo despejado, en una superficie de un metro cuadrado, colocada en perpendicular al sol [13].

La radiación varía según el momento del día. Por otra parte, asimismo logra cambiar desde una localidad a otra, de forma sustancial, principalmente en zonas de montaña. La radiación oscila aproximadamente a un valor de $1.000 \text{ kWh}/\text{m}^2$ en todo el año, en territorios del norte europeo (Alemania), cubre un valor de 2.000 a $2.500 \text{ kWh}/\text{m}^2$ en todo el año, en las zonas desérticas. Las variaciones que se producen, son principalmente por las condiciones del clima, además de la oposición con respecto a la ubicación o ángulo solar (altura solar), que deriva principalmente de la latitud de cada lugar [8].

3.1.2 Energía solar fotovoltaica

La energía fotovoltaica proveniente del sol, es la conversión de la irradiación luminosa en electricidad. Proceso que deriva por el uso de componentes semiconductores que aportan con sus propiedades en la fluctuación de los electrones y protones para conducir la energía del sol. El material base para su fabricación suele ser el silicio [4]. Cuando la luz del Sol (fotones) incide en una de las caras de la célula, genera una corriente eléctrica que se suele utilizar como fuente de energía, como se ilustra en la figura 3.1.

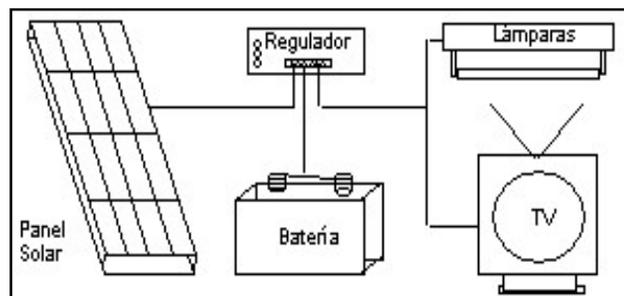


Figura 3.1: Circuito Eléctrico con Panel Solar (verano) [14]

Los módulos fotovoltaicos generan electricidad como corriente continua (12 V) que deben acumularse en una batería transferida desde un regulador, que es un componente de protección de la batería contra sobre voltajes. Las cargas de la red como luminarias, reproductores de audio, televisores deben interconectarse a la batería por medio del regulador (componente DC) o con un inversor (componente AC) que transforma la energía guardada en corriente alterna y permite

el uso de las lámparas eficientes y otros electrodomésticos a 110 V AC, como se ilustra en la figura 3.2 [15].

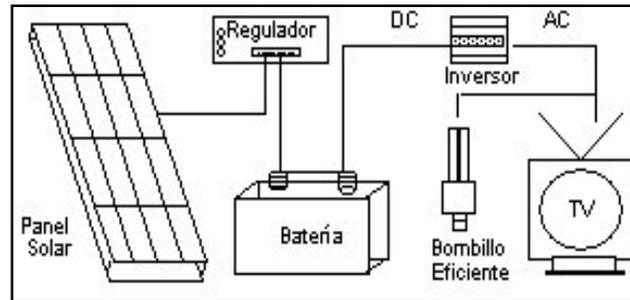


Figura 3.2: Circuito Eléctrico con Panel Solar (invierno) [14]

En una mayor radiación solar, existe más cantidad de energía que se almacena en la batería. De esta manera, cuando llegan las temporadas de gran cantidad solar se dispone de mucha energía para generar electricidad. En cambio, durante la temporada de invierno, con días lluviosos y nublados, se tiene menor disponibilidad de energía [16].

Los módulos solares implantados en paneles fotovoltaicos, se utilizaron en satélites para alimentarlos de energía. La fabricación de estas células resultaba un proceso realmente costoso, tanto económicamente como en tiempo. A pesar de que el componente de fabricación, como el silicio es cuantioso en el planeta, el proceso de conversión es complejo y esforzado: se necesitan protocolos específicos para fabricar barras de silicio, de los cuales se cortarían posteriormente las obleas (células), en la actualidad sus precios se han reducido considerablemente [17]. El silicio que deriva de la chatarra de componentes electrónicos es transformado en silicio de paneles solares. Hoy en día, se empiezan a utilizar otros metales y cristales con mejores propiedades.

Actualmente se perfilan como la solución definitiva al problema de la electrificación rural, con clara ventaja sobre otras alternativas, pues, al carecer los paneles de partes móviles, resultan totalmente inalterables al paso del tiempo, no contaminan ni producen ningún ruido en absoluto, no consumen combustible y no necesitan mantenimiento. Además, y aunque con menos rendimiento, funcionan también en días nublados, puesto que captan la luz que se filtra a través de las nubes [18].

Un panel solar de 50 a 60 vatios (aprox. $1/2 m^2$) posee la propiedad de operar 3 luminarias, además de una televisión en un periodo de 4 horas al día. Lo que representa un consumo de $160 W/h/día$. La autonomía de la planta puede ser aumentada adicionando paneles solares. Así

con dos paneles se duplica la capacidad de la planta, como se logra apreciar en la figura 3.3 [19].

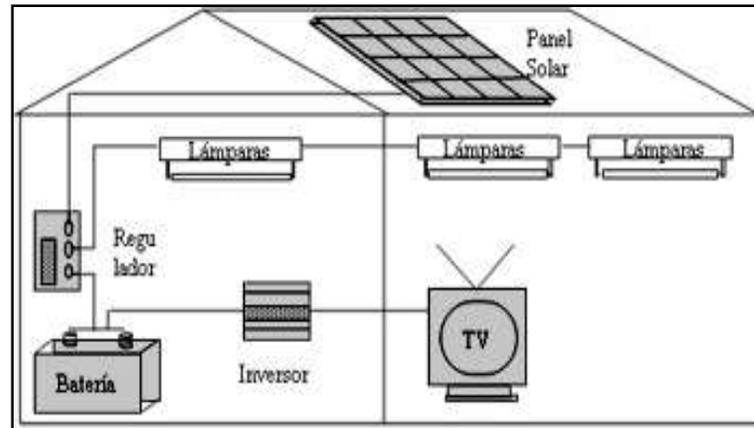


Figura 3.3: Central Fotovoltaica [14]

Es importante que todas las células que componen un panel solar fotovoltaico tengan las mismas características, lo que significa que después de la fabricación de las mismas, hay que seguir un proceso de clasificación y selección [6].

En los lugares más remotos, la energía solar ofrece una solución económica y confiable que ha permitido extender redes de comunicación a un mayor número de personas y lugares [20]. La energía eléctrica que se produce podría utilizarse directamente, o almacenarse para su posterior uso [21]. Además, la energía sobrante puede suministrarse a la red de electricidad pública, generando menores recargos de consumo o regalías.

Las instalaciones aisladas de la red eléctrica se emplean sobre todo en aquellos emplazamientos en los que no se tiene acceso a la red eléctrica y resulta más económico implementar una planta fotovoltaica, que disponer un conductor desde la instalación y el lugar del usuario. La electricidad generada se destina a autoconsumo [22].

3.2 CÉLULA SOLAR FOTOVOLTAICA

Una célula solar es un dispositivo semiconductor que puede convertir la radiación solar en electricidad. Su capacidad de convertir la luz solar en electricidad sin una conversión intermedia la hace única para aprovechar la energía solar disponible en electricidad útil. Por eso se denominan células solares fotovoltaicas [14]. La figura 3.4 muestra una célula solar típica.

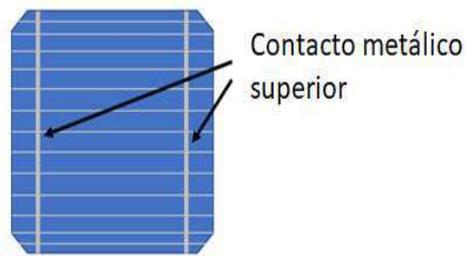


Figura 3.4: Célula solar típica [14]

En este sentido existen varios factores que rigen la electricidad generada por una célula solar, como:

La intensidad de la luz: Cuanto mayor sea la luz solar que incide sobre la célula, mayor será la electricidad generada por ésta.

Área de la célula: Al aumentar el área de la célula, la corriente generada por la célula también aumenta.

Ángulo de incidencia: Si la luz que incide sobre la célula es perpendicular a su superficie, la potencia generada por ella es óptima. Lo ideal es que el ángulo sea de 90° , pero en la práctica debe ser lo más cercano a 90° .

La célula solar es un dispositivo de dos terminales: Uno es positivo (ánodo) y el otro negativo (cátodo). Una disposición de células solares se conoce como módulo solar o panel solar, mientras que la disposición de paneles solares se conoce como conjunto fotovoltaico [23].

Las células solares cada vez tienen un mayor desarrollo y mejores materiales de fabricación, en la actualidad el perovskita es el que da mayor eficiencia de captación solar; es decir, un mejor aprovechamiento de la irradiación.

3.3 FUNCIONAMIENTO DE UNA CÉLULA SOLAR

La luz solar es un conjunto de fotones que tienen una cantidad finita de energía. Para que la célula genere electricidad, debe absorber la energía del fotón. La absorción depende de la energía del fotón y de la energía de la banda prohibida del material semiconductor solar y se expresa en electrón-voltio (eV) [24].

Los fotones son absorbidos por el material semiconductor, lo que da lugar a la generación de pares electrón-hueco, en los que los electrones tienen carga negativa y los huecos tienen carga positiva [10]. Cuando se conecta una carga se produce una separación de electrones y huecos

en la unión, los huecos se desplazan hacia el lado del ánodo y los electrones hacia el lado del cátodo.

Así, la separación de estas dos cargas crea una diferencia de potencial eléctrico y con ello se obtiene una tensión a través del terminal de la célula. Esta tensión se utiliza para conducir la corriente en el circuito [25].

3.4 PARÁMETROS DE LA CÉLULA SOLAR

La conversión de la luz solar en electricidad viene determinada por varios parámetros de una célula solar. Para entender estos parámetros, se tiene que echar un vistazo a la curva I - V como se muestra en la figura 3.5 a continuación [26]. La curva se ha trazado a partir de los datos de la tabla 3.1.

Tabla 3.1: Datos de I, V y P para la curva de parámetros de la célula solar

Amperios	Voltios	Watts
0	$V_{Oc} = 11.4$	0
0.2	11.06	2.21
0.4	10.59	4.24
0.5	10.24	5.12
0.6	9.54	5.72
0.61	9.39	5.73
$I_M = 0.62$	$V_M = 9.27$	$P_M = 5.75$
0.63	9.08	5.72
0.64	8.72	5.58
$I_{Sc} = 0.65$	0	0

Fuente: Obtenido de [26]

La figura 3.5 muestra la curva de corriente versus voltaje de la información de la tabla anterior, los mismos que son datos ejemplos para estimar la importancia de los parámetros eléctricos en los paneles fotovoltaicos [20].

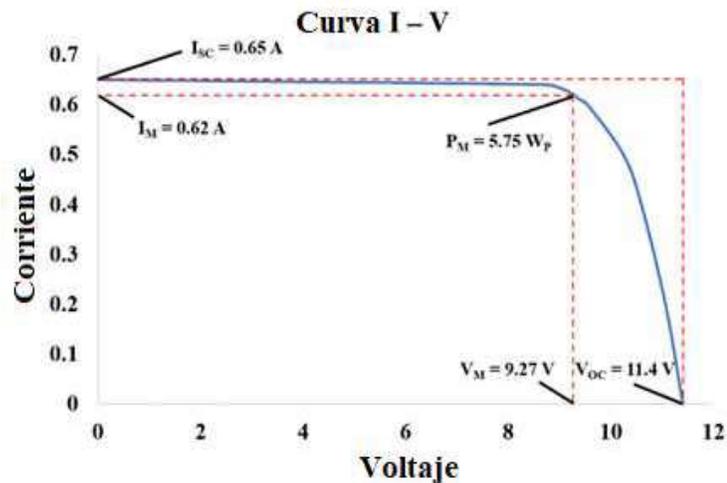


Figura 3.5: Curva de I versus V de un panel solar [20]

Los parámetros de la célula son dados por los fabricantes en la Condición de Prueba Estándar (STC-Standard Test Condition). En la STC, la radiación solar correspondiente es igual a 1000 W/m^2 y la temperatura de funcionamiento de la célula es igual a $25 \text{ }^\circ\text{C}$ [15]. Los parámetros de las células solares se ilustran en la figura 3.6.

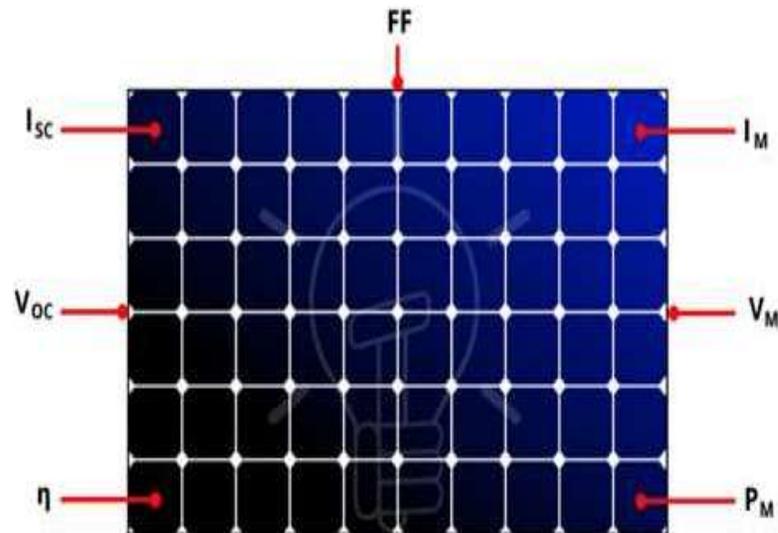


Figura 3.6: Parámetros de una célula solar y características de un panel fotovoltaico [15]

Las energías limpias, como la solar, son una pieza clave para el crecimiento de un mundo más verde. La energía solar es la fuente de energía de más rápido crecimiento.

3.4.1 Corriente de cortocircuito (I_{sc})

La corriente de cortocircuito es la corriente máxima producida por la célula solar, se mide en amperios (A) o miliamperios (mA). Como se puede ver en la tabla 3.1 y en la figura 3.2, la

tensión de circuito abierto es cero cuando la célula produce la máxima corriente ($I_{SC} = 0,65 A$) [27].

El valor del cortocircuito depende de la superficie de la célula, de la radiación solar que incide sobre ella, de la tecnología de la célula, etc. A veces, los fabricantes indican la densidad de corriente en lugar del valor de la corriente. La densidad de corriente se denomina “J” y la densidad de corriente de cortocircuito se denomina “ J_{SC} ” [28]. La densidad de corriente de cortocircuito se obtiene dividiendo la corriente de cortocircuito por el área de las células solares como muestra la ecuación (1):

$$J_{SC} = I_{SC}/Área \quad (1)$$

Por ejemplo, una célula solar tiene una densidad de corriente de $40 mA/cm^2$ en STC y un área de $200 cm^2$ [19]. Entonces, la corriente de cortocircuito puede determinarse como:

$$I_{SC} = J_{SC}/Área = 40 mA/cm^2 * 200cm^2 = 8000 mA = 8A$$

3.4.2 Tensión de circuito abierto (V_{OC})

La tensión en circuito abierto es la tensión máxima que puede producir la célula en condiciones de circuito abierto. Se mide en voltios (V) o milivoltios (mV). Como se puede ver en la tabla 3.1 y en la figura 3.2, la corriente de cortocircuito es igual a cero cuando la célula produce la máxima tensión [22]. El valor de V_{OC} depende de la tecnología de la célula y de la temperatura de funcionamiento de la misma.

3.4.3 Punto de máxima potencia (P_M)

El punto de máxima potencia representa la máxima potencia que puede producir una célula solar en el STC (es decir, una radiación solar de $1000 W/m^2$ y una temperatura de funcionamiento de la célula de $25 °C$). Se mide en W_{PEAK} o simplemente W_P . Aparte del STC, la célula solar tiene P_M a diferentes valores de radiación y temperatura de funcionamiento de la célula [11].

La célula puede funcionar con diferentes combinaciones de corriente y tensión. Pero sólo puede producir la máxima potencia P_M a una determinada combinación de tensión y corriente [8]. Como se muestra en la figura 3.2, el punto de máxima potencia está en el vértice de la curva I - V y es el producto de I_M y V como lo muestra la ecuación (2):

$$P_M = I_M * V_M = 0.62 * 9.27 = 5.75 W_p \quad (2)$$

3.4.4 Corriente en el punto de máxima potencia (I_M)

Representa la corriente que la célula solar producirá cuando funcione al máximo punto de potencia. Se denota por I_M y puede verse en la figura 3.2 que su valor es siempre inferior a la corriente de cortocircuito (I_{SC}). Se mide en amperios (A) o en miliamperios (mA) [29].

3.4.5 La tensión en el punto de máxima potencia (V_M)

Representa la tensión que producirá la célula solar cuando funcione al máximo punto de potencia. Se denota por V_M y se puede ver en la figura 3.2 que su valor es siempre inferior a la tensión de circuito abierto (V_{OC}). Se mide en voltios (V) o milivoltios (mV) [12].

3.4.6 Factor de relleno (FF)

Representa el área cubierta por el rectángulo $I_M - V_M$ con el área cubierta por el rectángulo $I_{SC} - V_{OC}$ como por líneas punteadas en la figura 3.2. El factor de llenado representa la cuadratura de la curva $I - V$ [21]. Se representa en términos de porcentaje (%), cuanto mayor sea el factor de llenado en porcentaje, mejor será la célula, como muestra la ecuación (3):

$$FF = P_M / (I_{SC} * V_{OC}) \quad (3)$$

En base a los datos de la tabla 3.1 y la figura 3.2 se puede determinar el factor de llenado de la siguiente manera:

$$FF = [5.75 / (0.65 * 11.4)] * 100 = 77.59\%$$

Se representa en porcentaje multiplicándolo por 100 [30].

3.4.7 Eficiencia (η)

La eficiencia de una célula solar se define como la potencia máxima de salida (P_M) dividida por la potencia de entrada (P_{in}). Se mide en porcentaje (%), lo que indica que ese porcentaje de la energía solar de entrada se convierte en energía eléctrica. La potencia de entrada es la densidad de potencia. Por lo tanto, para calcular la eficiencia hay que multiplicar el P_{in} en el STC por el área [31]. La eficiencia se puede calcular como lo muestra la ecuación (4):

$$\eta = P_M / (P_{in} * \text{Área}) \quad (4)$$

Si el área de la célula es de $0,01 \text{ m}^2$, $P_M = 5,75 \text{ W}_p$, la eficiencia en condiciones de prueba estándar puede ser dada como:

$$\eta = [5,75 \text{ W}_p / (1000 \text{ W/m}^2 * 0,01 \text{ m}^2)] = 57,5 \%$$

Se representa en porcentaje multiplicándolo por 100 [9].

3.4.8 Tecnologías fotovoltaicas

En el mercado hay una gran variedad de células solares. El nombre de la tecnología de las células solares depende del material utilizado en esa tecnología. Por lo tanto, las diferentes células tienen diferentes parámetros como la densidad de corriente de cortocircuito, la eficiencia, la tensión de circuito abierto, el factor de relleno, etc. [13]. La tabla 3.2 muestra la lista de células disponibles en el mercado y el rango de valores de sus parámetros.

La energía fotovoltaica, al ser nombrada la fuente de energía más eficiente y rentable, y a medida que aumenta el calentamiento global, la energía solar parece la mejor alternativa a la quema de combustibles fósiles

Tabla 3.2: Células fotovoltaicas disponibles en el mercado

Tipo de célula	Eficiencia (%)	Tensión de circuito abierto (V)	Densidad de corriente (mA/cm^2)	Área de la célula (cm^2)	Factor de relleno (FF)
Silicio monocristalino	14 - 17	0.55 – 0.68	30 - 38	5 - 156	70 - 78
Silicio multicristalino	14 - 16	0.55 – 0.65	30 - 35	5 - 156	70 - 76
Amorfo de Si	6 - 9	0.70 – 1.1	8 - 15	5 - 200	60 - 70
Teluro de cadmio	8 - 11	0.80 – 1.0	15 - 25	5 - 200	60 - 70
Cobre-indio-galio-seleniuro	8 - 11	0.50 – 0.7	20 - 30	5 - 200	60 - 70
Arseniuro de galio	30 - 35	1.0 – 2.5	15 - 35	1 - 4	70 - 85

Fuente: Adaptado de [13]

3.4.9 Factores que afectan a la potencia generada por las células solares

3.4.9.1 Eficiencia de conversión (η):

No toda la luz que incide en la célula solar se convierte en energía eléctrica. Se denomina eficiencia de conversión a la relación entre la energía eléctrica generada y la energía lumínica de entrada. La eficiencia de la célula no puede variar en función del proceso de fabricación y del material utilizado en ella y su valor permanece fijo [17].

La potencia máxima de la célula solar P_M depende de la tensión que desarrolle en el terminal de la célula y de la corriente que pueda suministrar. El área de la célula es uno de los factores importantes que afectan a la potencia de salida desarrollada por la célula. El valor de la potencia de salida puede determinarse para una potencia de entrada dada en (W/m^2), la eficiencia de conversión de la célula (%) y el área de la célula en (m^2) [32].

La eficiencia de la célula solar se da en STC y la potencia de entrada (P_{in}) se toma como $1000 W/m^2$. Por lo tanto, la ecuación (5) permite determinar la potencia de salida generada para diferentes eficiencias [33].

$$P_M = (P_{in} * \text{Área}) * \eta \quad (5)$$

Por ejemplo, si se tiene que calcular la potencia de salida en STC teniendo eficiencias del 30% y del 25% y un área de $0,01 m^2$ [34]. Así, para una eficiencia del 30% se tiene:

$$P_M = (1000 W/m^2 * 0,01m^2) * 0,30 = 3W_p$$

Y para una eficiencia del 25% se tiene:

$$P_M = (1000 W/m^2 * 0,01m^2) * 0,25 = 2,5W_p$$

3.4.9.2 Cantidad de luz de entrada

La intensidad de la luz que incide sobre la célula va cambiando a lo largo del día. Dependiendo de la luz que incide sobre la célula, la corriente y la tensión de la célula cambian. La corriente generada por la célula depende directamente de la luz que incide sobre ella [35].

Desde la mañana hasta la tarde, la luz que incide sobre la célula aumenta, por lo que la corriente generada por la célula también aumenta. Desde la tarde hasta la puesta de sol, la luz que incide

sobre la célula disminuye, por lo que la corriente generada por la célula también disminuye [10]. La tensión de salida de la célula no varía mucho, ya que no se ve afectada por la variación de la luz solar.

Por ejemplo, si se tiene que calcular la potencia de salida de una célula con una superficie de $0,01 \text{ m}^2$ para una potencia de entrada de 1000 W/m^2 y 800 W/m^2 con un rendimiento del 25% [3]. Así, para una potencia de entrada de 1000 W/m^2 se obtiene la potencia de salida de la siguiente manera:

$$P_M = (1000 \text{ W/m}^2 * 0,01\text{m}^2) * 0,25 = 2,5 \text{ W}_P$$

Y para una potencia de entrada de 800 W/m^2 , se tiene:

$$P_M = (800 \text{ W/m}^2 * 0,01\text{m}^2) * 0,25 = 2 \text{ W}_P$$

Como se puede observar, hay una disminución de la potencia de salida debido a una disminución de la potencia de entrada [27]. Por lo tanto, la cantidad de energía generada por la célula es proporcional a la luz solar.

3.4.9.3 Área de la célula

La corriente de cortocircuito de la célula solar depende del área de la célula. La corriente de salida es directamente proporcional al área de la célula. Cuanto mayor sea el área de la célula, mayor será la cantidad de corriente generada y viceversa [13]. Por ejemplo, un área de 200 cm^2 producirá 2 A de corriente y una de 200 cm^2 producirá 4 A de corriente para la misma irradiación de 1000 W/m^2 .

En este sentido, como se revisó en párrafos anteriores la densidad de corriente se obtiene dividiendo la corriente por el área de la célula. La densidad de corriente (J_{SC}) es fija para una intensidad de luz solar determinada y no depende del área [11]. Por ejemplo, se tiene que calcular la corriente de salida de la célula solar que tiene un área de 20 cm^2 y 50 cm^2 .

Teniendo una densidad de corriente constante de 35 mA/m^2 [31]. La corriente de salida para 20 cm^2 se puede calcular como:

$$I_{SC} = J_{SC} * \text{Área} = 35 \text{ mA/m}^2 * 20 \text{ cm}^2 = 0,70 \text{ A}$$

La corriente de salida para 50 cm^2 puede calcularse como:

$$I_{SC} = J_{SC} * \text{Área} = 35 \text{ mA/m}^2 * 50 \text{ cm}^2 = 1,75 \text{ A}$$

Por lo tanto, a partir del cálculo anterior, está claro que cuanto mayor sea el área de la celda mayor es el valor de la corriente [14].

3.4.9.4 El ángulo de la luz (θ)

La célula solar produce la máxima potencia de salida para una luz solar determinada cuando el ángulo de la luz y la célula son perpendiculares entre sí (es decir, 90°), como se muestra en la figura 3.3. Si el ángulo de incidencia de la luz es inferior o superior a 90° , como se muestra en la figura 3.3, se producirá una potencia de salida inferior a la capacidad de potencia de salida máxima de la célula [36].

Cuando la luz incide en un ángulo mayor o menor de 90° una parte de la luz se refleja, y la luz utilizada por la célula es menor que la que incide en ella. Esto provoca una reducción de la potencia de salida generada por la célula. Por este motivo, se debe instalar la célula solar en un ángulo perpendicular a la luz que incide para generar la máxima electricidad posible [17]. La figura 3.7 ilustra la posición más adecuada de los paneles fotovoltaicos para obtener mejor rendimiento.

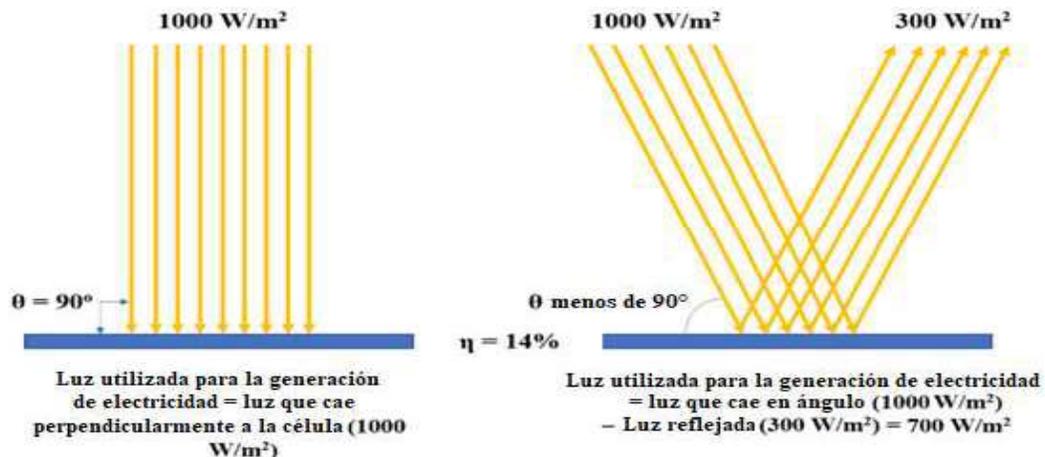


Figura 3.7: Posición del panel y ángulo de la luz [16]

3.4.9.5 Temperatura de funcionamiento (T)

Los fabricantes proporcionan el voltaje, la corriente y la potencia nominal de la célula en el STC con una irradiación de 1000 W/m^2 y una temperatura de $25 \text{ }^\circ\text{C}$. Pero en la práctica, la temperatura de la célula solar varía debido a la temperatura ambiente y, además, las células están encerradas en vidrio, por lo que la temperatura de la célula solar aumenta aún más [22]. Este cambio de temperatura afecta a la tensión, la potencia y la eficiencia de la célula, el aumento de la temperatura de la célula por encima del STC reduce la salida de estos parámetros. La disminución de estos parámetros difiere en función de las diferentes células solares disponibles en el mercado [18].

A continuación, se tiene un ejemplo para interpretar la disminución de uno de los parámetros (la tensión). Una célula tiene una tensión de salida de $0,9 \text{ V}$ a STC. La temperatura de funcionamiento de la célula es de $50 \text{ }^\circ\text{C}$. La tensión de salida de la célula disminuye en $2,1 \text{ mV/}^\circ\text{C}$ [9]. Para calcular la tensión de salida y su nuevo valor, se utiliza la ecuación (6):

$$\Delta T = T_{actual} - T_{estandar} = 50 - 25 = 25 \text{ }^\circ\text{C} \quad (6)$$

Tensión de salida reducida = Tensión en circuito abierto (V_{OC}) a STC - (Disminución de la tensión - ΔT) = $0,9 - (2,1 \times 10^{-3} * 25) = 0,84 \text{ V}$

Del cálculo anterior, se puede concluir que hay una disminución de la tensión de salida si la temperatura se eleva por encima de STC (es decir, por encima de $25 \text{ }^\circ\text{C}$) [36].

3.5 Equipos de monitoreo de corriente continua

Los equipos de monitoreo permiten el registro y análisis con el objetivo de detectar un suceso inesperado, mantener la calidad para un equipo de medición eléctrica permiten determinar desde la presencia de corriente eléctrica minimizando así el riesgo de descarga o facilitando la localización de averías, hasta medir la tensión, intensidad o resistencia de líneas y aparatos eléctricos.

3.5.1 Analizador TRH16-RS485-25A

TRH16-RS485 es un equipo de medida, de hasta dieciséis canales de corriente continua y un canal de tensión, de hasta 1500 V de tensión continua. La medida de corriente se realiza a través de dieciséis transformadores de efecto Hall (transformadores para la medida de corriente continua), de primario 25 A .

El equipo dispone de 2 puertos de comunicación RS-485. El primero de ellos se utiliza para conectar y transmitir la información al máster, mediante el protocolo Modbus/RTU. El segundo puerto de comunicación, permite realizar una topología de comunicación de tipo multimáster, dado que multitud de aplicaciones pueden estar compuestas por una gran cantidad de analizadores TRH16-RS485.

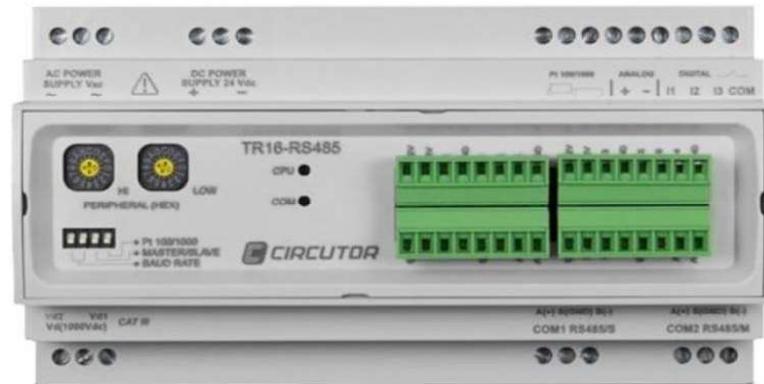


Figura 3.8: Posición del panel y ángulo de la luz

4 MATERIALES Y MÉTODOS

En el presente proyecto se desarrolló una investigación de carácter aplicativo, la cual se llevó a cabo en la Planta Fotovoltaica del Laboratorio de Energías Renovables de la Universidad Técnica de Cotopaxi, donde se realizó el estudio teórico y práctico. De acuerdo a la metodología, por tratarse de una propuesta tecnológica en el proceso de caracterización de los parámetros de corriente-voltaje y potencia-voltaje en paneles fotovoltaicos, se ejecutó el respectivo análisis para establecer un sistema de monitoreo de los parámetros eléctricos fundamentales para la operatividad y mantenimiento.

4.1 MÉTODOS

Bibliográfico. - Este método se refiere a la recolección de la información necesaria para el desarrollo de la investigación, con la cual se analizó la tecnología para el sistema de caracterización de los parámetros eléctricos en los paneles fotovoltaicos Simax Green New Energy y Ving Solar, así como del analizador de tensión y corriente continua multicanal TRH16-RS485, también el control de las entradas y salidas del mismo, junto con el HMI que se pretende realizar para visualizar las curvas de los parámetros eléctricos en los paneles fotovoltaicos; además logra respaldar la teoría científica de la investigación, demostrando los contenidos como un argumento epistemológico.

De Campo. - Se utilizará la investigación de campo en el proceso de recolección de datos directamente de los operarios de la planta fotovoltaica del Laboratorio de Energías Renovables, así como los usuarios del sistema eléctrico fotovoltaico, además de la inscripción e identificación de cada componente instalado en la red eléctrica. El levantamiento de la información a través de la inspección visual fue útil en el desarrollo de la propuesta tecnológica, como investigadores; este método permitió el análisis o diagnóstico actual del problema, el deficiente control y monitoreo de los paneles fotovoltaicos para la operatividad y mantenimiento.

Método inductivo. - El método inductivo será utilizado para determinar las falencias, inconsistencias y complementos que necesita el actual proceso de medición y valoración de las curvas de parámetros eléctricos en los paneles fotovoltaicos, para el registro de información y monitoreo de la planta fotovoltaica con el analizador de tensión y corriente continua multicanal TRH16-RS485, dentro del proceso de evaluación de la calidad de la energía eléctrica que produce la planta; en el cual existe consumo de energía con escasez de métricas o pérdidas de energía debido a la falta de información para una toma de decisiones, en cuanto a la operatividad y mantenimiento.

Método deductivo. - El método deductivo permitirá la identificación de los procesos de caracterización de los parámetros de corriente-voltaje y potencia-voltaje, con respecto a las métricas y curvas del estado actual de la planta fotovoltaica y su calidad de producción de energía eléctrica en el Laboratorio de Energías Renovables, al no contar con un sistema de monitoreo de los parámetros eléctricos en los paneles solares, no se conocen variables como voltaje, corriente y potencia los cuales ayudarán en la toma de decisiones; a generar información necesaria para presentar reportes organizados y más argumentados de forma técnica en la producción de energía eléctrica por parte de los paneles solares, deduciendo parámetros técnicos precisos que puedan manipular el volumen de datos fáciles de monitorear en un HMI del sistema de caracterización de parámetros eléctricos

4.2 TÉCNICAS

Observación. - La técnica de la observación es una práctica que permite identificar las causas y efectos del problema de forma visual, sobre la falta de conocimiento de variables esenciales como el voltaje, la corriente y la potencia para la calidad de energía en los paneles solares de la planta fotovoltaica del Laboratorio de Energías Renovables, con el fin de mejorar la toma de

decisiones, la operatividad y las estrategias de mantenimiento, y como esto está afectando a la energía eléctrica que genera la planta.

Medición. - Es el proceso de asociar números con cantidades y fenómenos físicos. En el sistema de caracterización de curvas de I-V y P-V, fue fundamental para valorar la cantidad de voltaje y corriente con el analizador TRH16, con ello determinar la potencia y poder generar las gráficas para estos parámetros eléctricos. Otra parte importante de medición, se lo realiza con el multímetro para valorar la condición de voltaje en el momento de ensamblar las conexiones de los equipos eléctricos.

Simulación. - Es el proceso de representación de un fenómeno o resultado de forma electrónica por medio de programas de computadora. Para el caso de la propuesta tecnológica, la simulación permitió el uso de MATLAB para generar las curvas de I-V y P-V con las medidas tomadas por el analizador de voltaje y corriente TRH16, la simulación facilitó el manejo de las librerías de MATLAB para construir el algoritmo .m con el cual se demuestra el comportamiento de los paneles fotovoltaicos.

4.3 INSTRUMENTOS

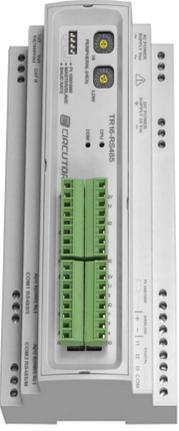
Multímetro. - Es un instrumento patrón que fue utilizado para medir directamente magnitudes eléctricas activas, de esta manera se pudo verificar continuidad, corriente y voltaje, que son necesarios para comprobar al momento de armar la parte física-estructural de la propuesta tecnológica.

MATLAB. - Es una plataforma de programación de alto rendimiento para el cálculo técnico. Integra el cálculo, la visualización y la programación en un entorno fácil de usar en el que los problemas y las soluciones se expresan en una notación matemática familiar, es utilizado para el modelado, simulación y creación de prototipos. En la propuesta tecnológica fue fundamental para el diseño del algoritmo que procesa los datos del analizador TRH16 y convierte esa información en las curvas de I-V y P-V mostrando las respectivas gráficas para un mejor entendimiento de la operatividad de los paneles.

4.4 MATERIALES

La tabla 4.1 muestra un cuadro característico con los sistemas de procesamiento de información para caracterizar las curvas de I-V y P-V en paneles fotovoltaicos.

Tabla 4.1: Selección de plataformas tecnológicas

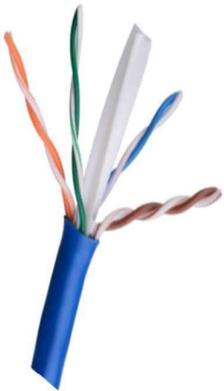
Característica	Arduino Uno	Raspberry PI	TRH16-RS485-25A	Imagen de la plataforma
Procesador	ATMega 328P	ARM 11	ARM1176JZF	 <p>Arduino Uno R3</p>
Velocidad	16 MHz	700 MHz	1,2 GHz	
RAM	2 KB	512 MB	512 MB	
EEPROM	1 KB	86 KB	172 KB	
Audio	n/a	HDMI, Analógico	n/a	
Video	n/a	HDMI, Analógico	n/a	
Ethernet	n/a	10/100	n/a	
I/O	14 pines digitales (6 PWM), 6 analógicos	8 GPIO	16 canales; 2 analógicas, 4 digitales	 <p>Raspberry PI</p>
Tamaño	2,95" x 2,1"	3,37" x 2,125"	9.62" x 6.74"	
Sistema operativo	n/a	Linux	n/a	 <p>TRH16-RS485</p>
Entorno	Arduino IDE Medición de voltaje y corriente con sensores adicionales	Linux, IDLE, Scratchbox, Eclipse. Medición de voltaje y corriente con sensores adicionales	Modbus/RTU Kep Server MATLAB Medición de corriente M/TR-25 y voltaje de forma directa	
Costo	15 USD	140 USD	600 USD	

Es importante que los componentes de hardware sean compatibles a la estructura de la planta fotovoltaica del Laboratorio de Energías Renovables de la Universidad Técnica de Cotopaxi para que tenga eficientes resultados, tanto en los algoritmos de programación como en la categorización de los parámetros de corriente-voltaje y potencia-voltaje en los paneles solares

en tiempo real. La tabla 4.2 muestra el hardware necesario para la implementación de la propuesta tecnológica.

Tabla 4.2: Hardware del sistema de caracterización de parámetros eléctricos

Componente	Modelo	Características	Imagen del hardware
PANEL SOLAR Simax (Suzhou) Green New Energy Co.	SP636-140	<p>Potencia máxima nominal (Pm) 140 W</p> <p>Tolerancia 0±3%</p> <p>Voltaje para Pmax (Vmp) 17.8 V</p> <p>Corriente para Pmax (Imp) 7.87 A</p> <p>Corriente de Circuito Abierto (Isc) 8.56 V</p> <p>Temperatura Nominal de Operación de la célula (NOCT) ±47 °C</p> <p>Voltaje máximo del sistema 1000 VDC</p>	
VING SOLAR	AT AM 5G SOLAR SPECTRUM YL235P-29Bb	<p>Potencia máxima nominal (Pm) 235 W</p> <p>Tolerancia 0±5%</p> <p>Voltaje para Pmax (Vmp) 29.1 V</p> <p>Corriente para Pmax (Imp) 8.08 A</p> <p>Corriente de Circuito Abierto (Isc) 37.4 V</p> <p>Temperatura Nominal de Operación de la célula (NOCT) ±25 °C</p> <p>Voltaje máximo del sistema 1000 VDC</p>	
ANALIZADOR DE TENSIÓN Y CORRIENTE CONTINUA MULTI-CANAL	TRH16-RS485-25A	<p>Tensión nominal: AC 230V, DC 24V</p> <p>Tolerancia de alimentación: AC ±20%, DC ±10%</p> <p>Frecuencia: 50Hz</p> <p>Consumo del equipo sin transformadores: AC 2VA, DC 2W</p> <p>Consumo del equipo con 16 sensores (en vacío): AC 14VA, DC 8W</p> <p>Protección: IP20</p>	

<p>MÓDULO DE MEDIDA DE CORRIENTE</p>	<p>M/TR-25</p>	<p>Módulo de medida para 4 circuitos de corriente que utilizan el TR16 para realizar la medida de las corrientes hasta 25 A C.C.</p>	
<p>CABLE ETHERNET CAT5E</p>	<p>OUTP6CCA305AZ3</p>	<p>Apantallamiento SF/UTP Funda exterior de PVC Color azul de la funda Longitud 10m ISO/IEC 11801:2002/2008,</p>	
<p>Convertidor SERIAL</p>	<p>GCS-RS485-USB</p>	<p>Tipos de USB: 1.1 y 2.0 Comunicación serial compatible: RS232 o RS485 Señalización de LED: Transmisión de datos Tensión nominal de operación: 5V Corriente nominal de operación: 20mA Temperatura ambiente de trabajo: 40 °C a 60 °C Humedad relativa: 0 a 80%</p>	

4.5 MODELO DEL EXPERIMENTO

El experimento práctico consiste en conectar una carga variable al sistema como se muestra en la figura 4.1 la cual permitirá obtener las curvas de operación de los paneles, cabe mencionar que este experimento se llevó a cabo para todos los paneles disponibles.

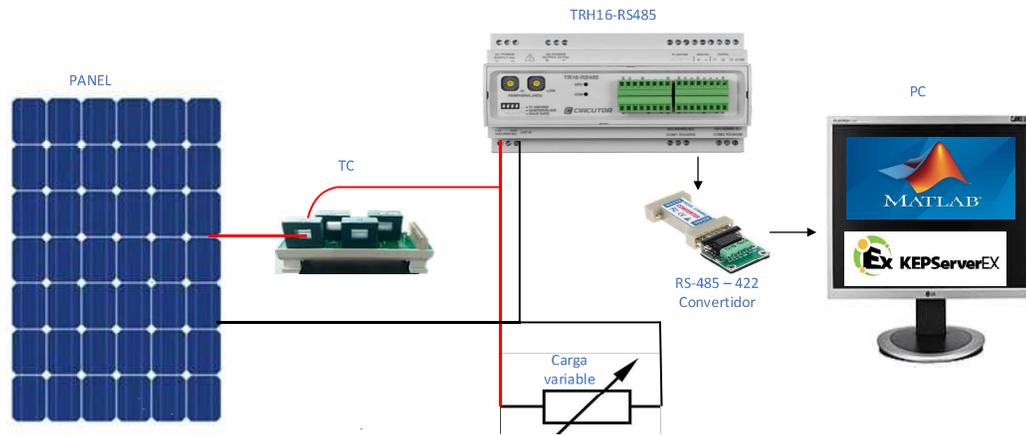


Figura 4.1: Modelo del experimento práctico

4.5.1 Comunicación MODBUS

El protocolo MODBUS utiliza la definición de datos en tablas para guardar la información proveniente de un componente esclavo, la tabla de información principalmente es un buffer de datos utilizado para guardar datos en el esclavo, las tablas de datos que usa en MODBUS son cuatro y se muestran en la tabla 4.3.

Tabla 4.3: Direcciones del protocolo MODBUS

Dirección MODBUS	Dirección usada en el protocolo	Nombre de la Tabla de Datos
1- 999	0000 - 9998	Output Coils (Lectura/escritura)
10001 - 1999	0000 - 9998	Inputs Contac (Lectura)
30000 - 39999	0000 - 9998	Inputs Registers (Lectura)
40001 - 49999	0000 - 9998	Holding Registers (Lectura/Escritura)

4.5.2 Direcciones del MODBUS

La tabla 4.4 muestra las direcciones MODBUS del equipo para la comunicación, donde se muestran las direcciones de memoria de los equipos esclavos, en caso de ser conectados

Tabla 4.4: Direcciones MODBUS del equipo

Descripción	Símbolo	Dirección	Unidad
Corriente entrada 1	I1	0000	Ax100
Corriente entrada 2	I2	0001	Ax100
Corriente entrada 3	I3	0002	Ax100
Corriente entrada 4	I4	0003	Ax100
Corriente entrada 5	I5	0004	Ax100
Corriente entrada 6	I6	0005	Ax100
Corriente entrada 7	I7	0006	Ax100
Corriente entrada 8	I8	0007	Ax100
Corriente entrada 9	I9	0008	Ax100
Corriente entrada 10	I10	0009	Ax100
Corriente entrada 11	I11	000A	Ax100
Corriente entrada 12	I12	000B	Ax100
Corriente entrada 13	I13	000C	Ax100
Corriente entrada 14	I14	000D	Ax100
Corriente entrada 15	I15	000E	Ax100
Corriente entrada 16	I16	000F	Ax100
Tensión Diferencial	Vd	0010	Vx10
Temperatura Pt100/Pt1000	Pt100/Pt1000	0011	°C

4.5.3 Conversor RS485 a RS232

Para transmitir datos digitales de manera serial, se lo puede realizar por medio de un conductor, ya sea multipunto o punto a punto, cuya topología permite el dominio de un ordenador principal interconectado a UTR (Remote Terminal Unit), es posible usar dos modos de transmisión: transmisión no balanceada o “single ended” y transmisión balanceada. Por otra parte, el formato de la transmisión en las señales de TX y RX del estándar RS232, se muestra en la figura 4.2. Se trata de una señal serial bipolar, normalmente entre +10 y -10 V.

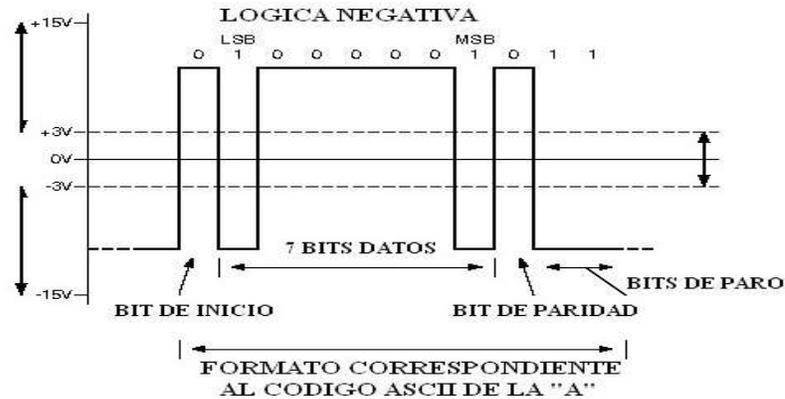


Figura 4.2: Señal del conversor RS485 a RS232 [3]

Al momento de necesitar distancias más grandes y requerimientos de velocidad mayores, de esta manera se debe utilizar los estándares RS485 y RS422. También, los mismos estándares logran satisfacer la comunicación multipunto; es decir, un ordenador principal interconectado con distintos UTR. Principalmente, porque la computadora principal dispone de un protocolo de salida la comunicación RS232, se requiere especialmente la interconexión de un dispositivo conversor RS232 a RS485/422, para establecer el enlace.

De esta forma, la transmisión diferencial permite velocidades de hasta 10 Mbps, sobre distancias de hasta 1,3 Km. Se usan dos señales para transmitir y dos para recibir, además de tierra, la cual está normalmente conectada al blindaje del cable. En un par trenzado, se transporta el encriptado de complemento y transmisión. En el receptor, la señal original se obtiene restando una de la otra. La configuración trenzada permite atenuar el ruido originado en el conductor, debido a la inducción magnética que se produce. En este sentido, la comunicación de estos estándares requiere el uso del par trenzado.

Es así que la diferencia principal entre RS422 y RS485, es el número de señales usadas en el cable de transmisión. El RS422 usa 4 señales y su tierra, el RS485 usa solo 2 señales y su tierra. Además, el RS485 requiere de un protocolo “half dúplex” para operar, dado que las mismas líneas son usadas tanto para transmisión como recepción.

4.5.4 Velocidades de comunicación

El analizador TRH16-RS485 dispone de un módulo de cuatro selectores (MINI-DIPS), que permiten la configuración de la velocidad de transmisión, mediante los selectores 1 y 2, como se muestra en la tabla 4.5.

Tabla 4.5: Velocidad de comunicación

Velocidad de transmisión	Selector 1	Selector 2
9.600/8/N/1	OFF	OFF
9.200/8/N/1	OFF	ON
38.400/8/N/1	ON	OF

4.5.5 Número de esclavos permitido

Mediante el selector número 3, el usuario puede escoger el tipo de topología de comunicación. El equipo puede configurarse como un esclavo convencional de una red de comunicación, o bien, configurarlo como un sub esclavo dentro de una red multi slave, como se muestra en la tabla 4.6.

Tabla 4.6: Ejemplo de número de esclavos

TX	NP 0407D0000F CR	
RX	NP 0420 02 03 04 05 06 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 CRC	
Lista de esclavos	02, 03, 04, 05, 06	Hexadecimal
Conversión decimal	02, 03, 04, 05, 06	Decimal

4.5.6 Servidor OPC

Es una plataforma que permite el enlace de dispositivos de la segunda capa enlace, que permite la comunicación de cliente servidor que proporciona datos y actúa como cliente leyéndolos o manipulándolos.

4.5.7 Kep Server

Es la plataforma líder en conectividad industrial, proporcionando acceso al entorno industrial o a la infraestructura a través de sus más de 150 protocolos incorporados y sirviendo dicha información en OPC DA y OPC UA. KEPServerEX permite al usuario conectar, gestionar, monitorizar y controlar cualquier tipo de dispositivo a través de una interfaz única e intuitiva.

También, resolver con precisión la operatividad de un OPC Server, igualmente puede comunicar la información en diferentes formatos según requerimiento de usuario, por ejemplo SNMP, ODBC, REST o MQTT, proporcionando al usuario una única fuente de datos sea cual sea el entorno en el que debe trabajar como se muestra en la figura 4.3, que ilustra las variables para la adquisición de datos del equipo esclavo (TRH16).

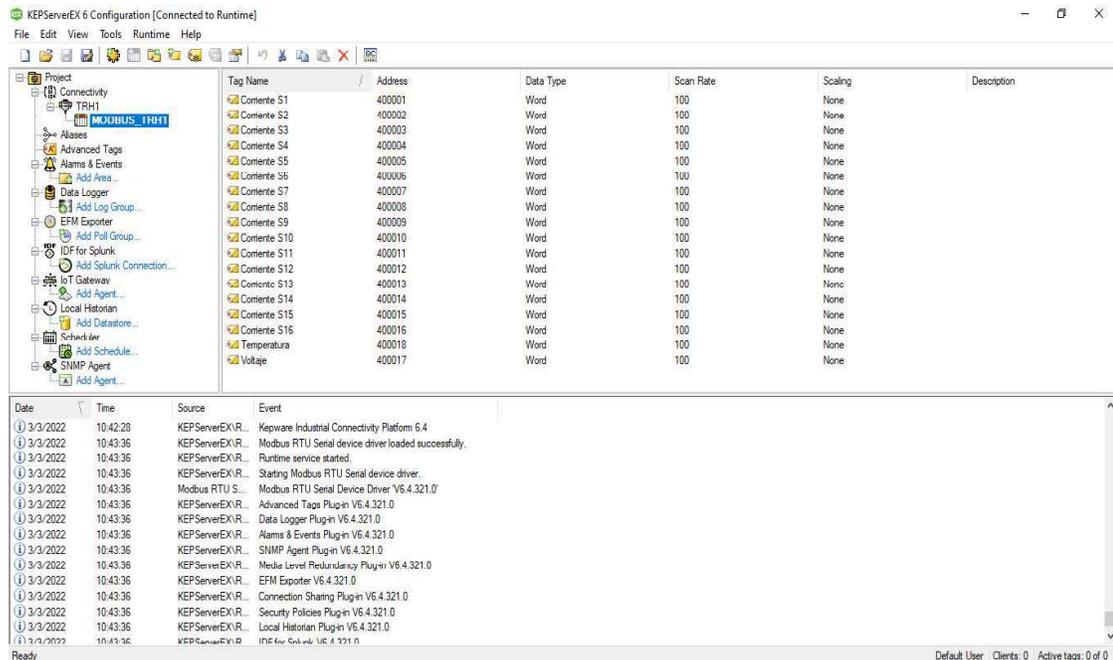


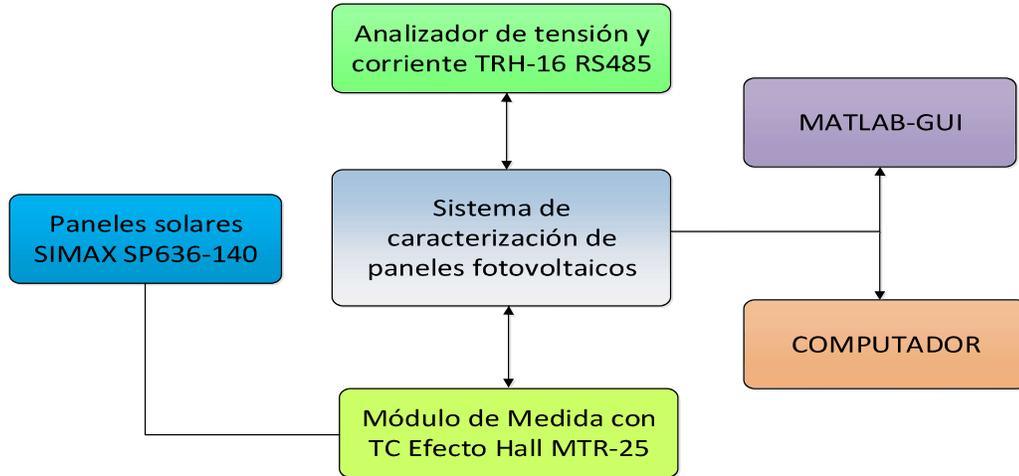
Figura 4.3: Conexión Kep Server

4.5.8 Software MATLAB

Es un software destinado a la programación, desarrollado para el cálculo numérico de procesos de ingeniería o en las actividades de la ciencia, para implementar soluciones a fenómenos del mundo real en escenarios virtuales. MATLAB es una herramienta matricial que ayuda al procesamiento de datos y las expresiones matemáticas más naturalmente.

Los componentes compatibles con el analizador de tensión y corriente continua multicanal TRH16-RS485 mostrados en la tabla han sido seleccionados debido a la compatibilidad tecnológica con la planta fotovoltaica, en este sentido la figura 4.4 muestra la arquitectura del sistema de caracterización de los parámetros de corriente-voltaje y potencia-voltaje en paneles fotovoltaicos del Laboratorio de Energías Renovables de la Universidad Técnica de Cotopaxi, donde el flujo de energía proviene desde los paneles solares SIMAX SP636-140, la energía pasa al Inversor Power Star W7 convirtiéndose de corriente continua a corriente alterna, en este punto entra en operación el sistema de caracterización de los parámetros eléctricos de los

paneles fotovoltaicos, con la medición de voltaje y corriente producido por el Analizador TRH16 con la ayuda del Módulo de medida con Transformadores de Corriente (TC) de efecto Hall MTR25.



SISTEMA DE CARACTERIZACIÓN DE PANELES FOTOVOLTAICOS

Figura 4.4: Arquitectura del sistema de caracterización de los paneles fotovoltaicos

El intercambio de información entre el analizador de tensión y corriente TRH16 RS485 y MATLAB permite constituir las curvas de operación de parámetros eléctricos I-V y P-V para mostrar a partir de los plot las curvas que generan los paneles fotovoltaicos.

En base a la arquitectura del sistema de caracterización de los paneles fotovoltaicos, una vez conectada la parte eléctrica del sistema, se procede a la conexión de la comunicación entre el Analizador TRH16-RS485, como se muestra en la figura 4.5, para ello se utiliza un convertor de estándar de comunicación de RS-485 a USB e interconexión a un computador por el puerto Serial con una velocidad de transmisión de 9600 baudios.

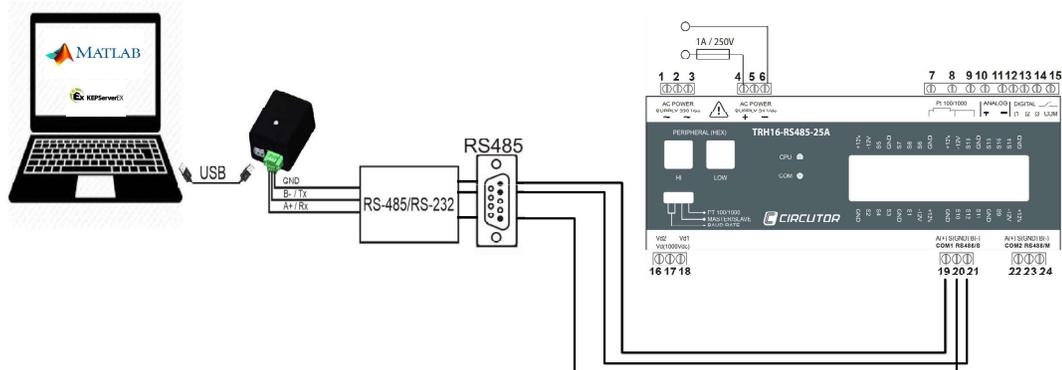


Figura 4.5: Comunicación TRH16-RS485 con el computador

El diagrama unifilar de la conexión eléctrica, así como las etapas de diseño e implementación del sistema de caracterización de los parámetros de corriente-voltaje y potencia-voltaje en paneles fotovoltaicos se puede visualizar en mayor detalle en el Anexo A y el Anexo B respectivamente. El siguiente proceso, a partir de la conexión eléctrica del sistema y de la configuración de comunicaciones, es la codificación de la programación.

Una vez verificadas las conexiones eléctricas y la comunicación entre el analizador TRH16-RS485 y el computador, se utiliza la herramienta informática MATLAB en su versión 2020, con este lenguaje de programación se procede a crear la función (.m) que permita adquirir los datos desde el analizador TRH16-RS485 hasta la interfaz de MATLAB, y con ello poder graficar tanto la curva característica de corriente-voltaje, al igual que la curva característica de potencia-voltaje, con esos resultados interpretar el comportamiento de los paneles solares.

La figura 4.6 muestra la herramienta informática MATLAB, la cual permite codificar el algoritmo de caracterización de voltaje, corriente y potencia, para mostrarlos en forma de curvas de operatividad como corriente versus voltaje y potencia versus voltaje. La versión de MATLAB 2020a tiene mayores librerías incorporadas, pero esto no limita que el sistema se pueda trabajar en versiones desde la 2014.

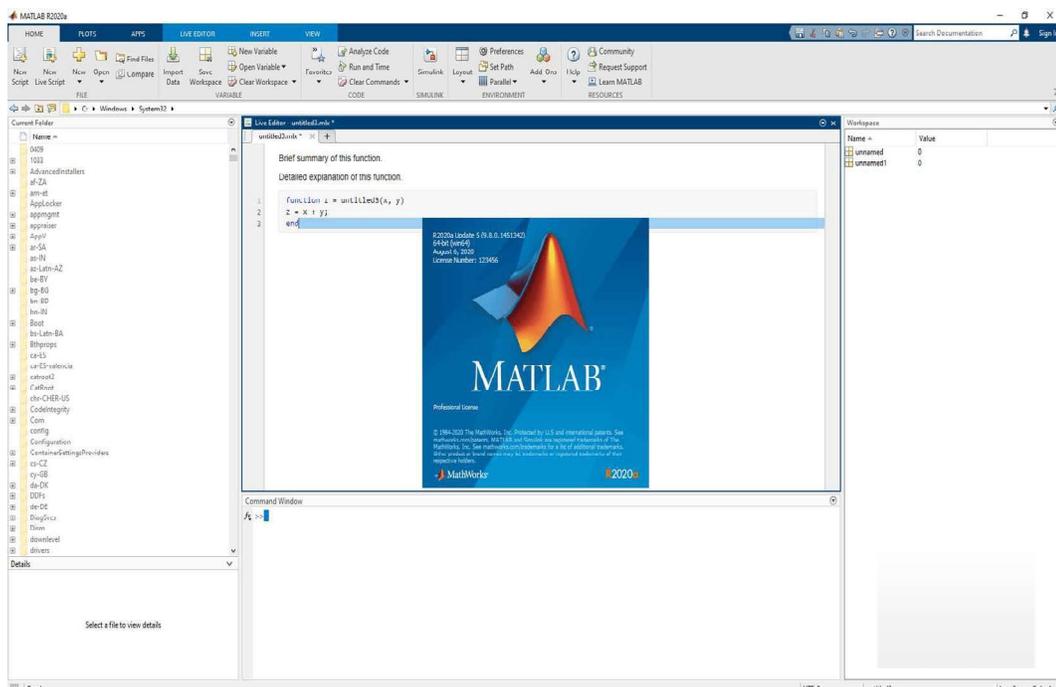


Figura 4.6: Herramienta informática MATLAB 2020

La programación del sistema de caracterización de los parámetros de corriente-voltaje y potencia-voltaje en paneles fotovoltaicos está conformada por cuatro eventos principales, la adquisición de datos desde el analizador TRH16-RS485 en MATLAB, el almacenamiento de los datos en las variables de voltaje y corriente, el cálculo de la potencia con la expresión $P = V * I$, y finalmente la gráfica en los plot de MATLAB de los parámetros eléctricos corriente-voltaje y potencia-voltaje. La tabla 4.7 muestra la función (.m) en el ambiente MATLAB para caracterizar las curvas de los paneles fotovoltaicos.

Tabla 4.7: Programación para caracterizar el voltaje, corriente y potencia

Evento	Código	Función (.m)
Adquisición de datos	<pre>s = serial('COM1'); time=1500; i=1; %Recepción de la trama de datos while(i<time) fopen(s); fprintf(s, 'Datos de serie'); out = fscanf(s); fclose(s); i=i+1; end delete(s) clear s</pre>	<pre>s = serial('COM1'); time=1500; i=1; %Recepción de la trama de datos while(i<time) fopen(s); fprintf(s, 'Datos de serie'); out = fscanf(s); %Separación trama para Voltaje Vol(i)=str2num(out(1:4)); subplot(2,2,1); plot(Vol,'g'); axis([0,time,20,50]); title('Parámetro Voltaje'); xlabel('Tiempo'); ylabel('Voltaje'); grid %Separación trama para Corriente Cor(i)=str2num(out(5:9)); subplot(2,2,2); plot(Vol,'m'); axis([0,time,25,100]); title('Parámetro Corriente'); xlabel('Tiempo'); ylabel('Corriente'); grid %Cálculo de la potencia Pot(i)=Vol(i)*Cor(i); subplot(2,2,3); plot(Pot,'r'); axis([0,time,100,150]); title('Parámetro Potencia'); xlabel('Tiempo'); ylabel('Potencia'); grid fclose(s) i=i+1; drawnow; end delete(s) clear s</pre>
Voltaje	<pre>%Separación trama para Voltaje Vol(i)=str2num(out(1:4)); subplot(2,2,1); plot(Vol,'g'); axis([0,time,20,50]); title('Parámetro Voltaje'); xlabel('Tiempo'); ylabel('Voltaje'); grid</pre>	
Corriente	<pre>%Separación trama para Corriente Cor(i)=str2num(out(5:9)); subplot(2,2,2); plot(Vol,'m'); axis([0,time,25,100]); title('Parámetro Corriente'); xlabel('Tiempo'); ylabel('Corriente'); grid</pre>	
Potencia	<pre>%Cálculo de la potencia Pot(i)=Vol(i)*Cor(i); subplot(2,2,3); plot(Pot,'r'); axis([0,time,100,150]); title('Parámetro Potencia'); xlabel('Tiempo'); ylabel('Potencia'); grid</pre>	

4.5.9 Diseño de la interfaz de usuario gráfica GUI

En la figura 4.7 se muestra la interfaz gráfica en la que se visualiza las curvas características de los paneles solares.

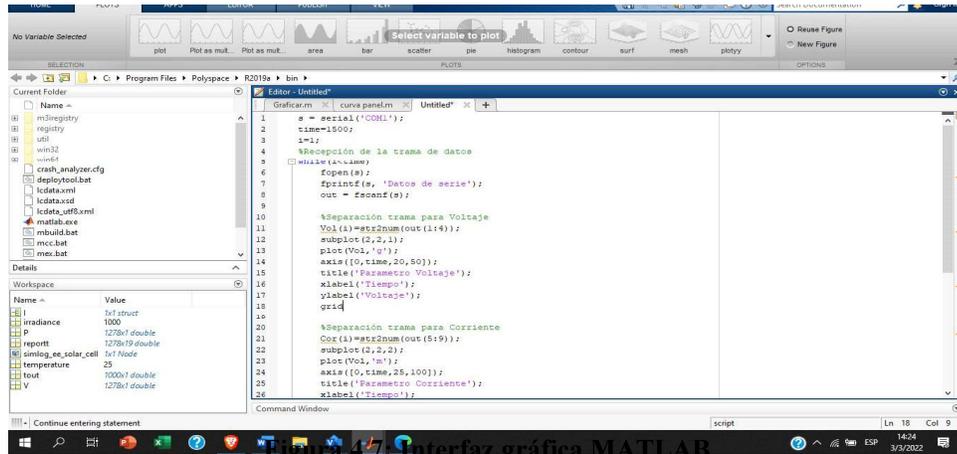


Figura 4.7: Interfaz gráfica MATLAB

4.6 Conexión eléctrica de los equipos

Para la parte eléctrica de los equipos para la adquisición de datos se toma desde los cuadros de protección principal el cual alimenta a los analizadores TRH16, y a los transformadores de corriente por medio de ellos se podrá conocer la corriente de cada uno de los paneles como se muestra en el anexo A del diagrama eléctrico del sistema.

4.6.1 Conexión de los transformadores de corriente

El TRH16-RS485, es un equipo diseñado para la medida de hasta 16 líneas de corriente continua de manera simultánea como se muestra en la figura 4.8. El equipo está provisto de 16 entradas para transformadores de efecto Hall, con los cuales puede medirse una corriente de hasta 25 A por canal en corriente continua.

Para la conexión del M/TR-25A con el equipo TRH16-RS485, se recomienda el uso de un cable apantallado, cuya malla debe conectarse únicamente al conector GND del equipo.

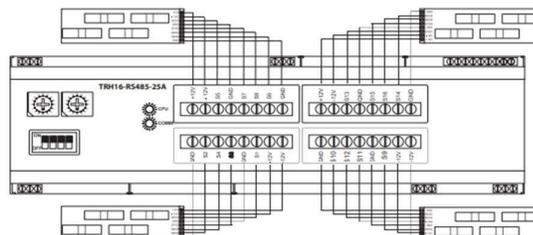
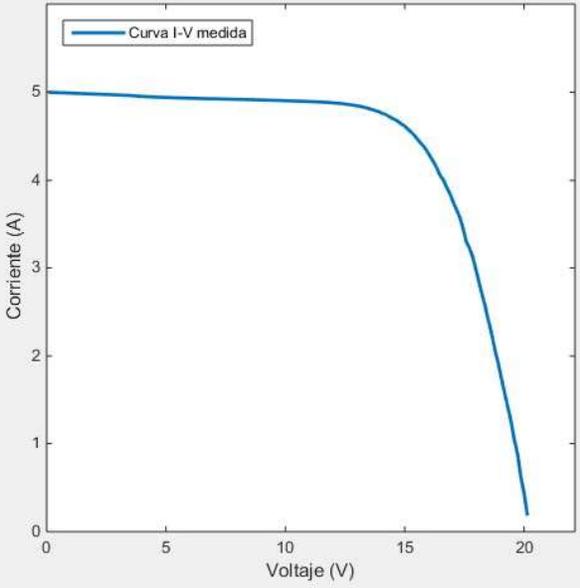


Figura 4.8: conexión TCs

5 ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

Como se puede apreciar en el Anexo B, el código de programación permite graficar las señales de voltaje versus corriente y potencia versus voltaje; este proceso se realiza para verificación de los datos adquiridos en MATLAB desde el analizador TRH16-RS485. En Anexo C muestra los resultados de cada curva de manera individualizada para cada panel fotovoltaico que integran la planta solar del laboratorio de Energías Renovables.

Tabla 5.1: Curva I-V panel Simax SP636-horario matutino

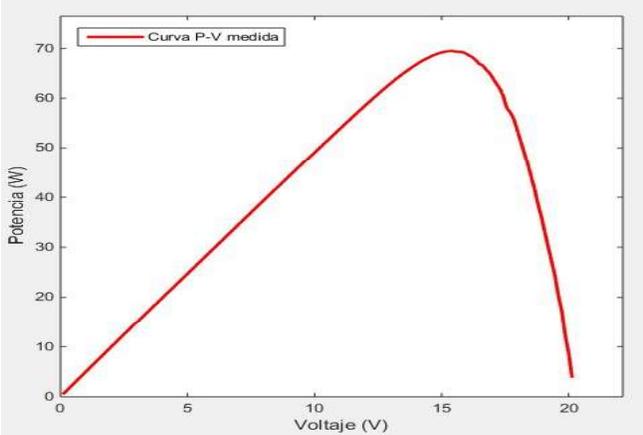
Curva	Parámetros
	$I_{SC} = 5,02 \text{ A}$ $V_{mp} = 18,4 \text{ V}$ $I_{mp} = 4,57 \text{ A}$ $V_{OC} = 19,08 \text{ V}$ $P_{max} = 84,2 \text{ W}$

En la curva se puede observar el comportamiento del panel fotovoltaico en forma individual, en esta el voltaje máximo llega a 18,4 V y la corriente máxima a 4,57 A, factor determinante para la potencia que hace que alcance un valor de 84,2 W; lo que concuerda con los datos del fabricante Simax (Suzhou) Green New Energy Co cuyo voltaje máximo estima en 17,8 V $\pm 10\%$ y una corriente máxima de 7,87 A; demostrando que el panel fotovoltaico logra trabajar en condiciones adecuadas según la irradiación solar que dispone.

La tabla 5.1 ilustra la curva I-V del panel solar Simax SP636 en un horario matutino, con datos recopilados desde las 09:30:19 A.M. hasta las 13:30:46 P.M.; que representan los datos graficados en MATLAB de voltaje versus corriente, develando que el panel ofrece un voltaje promedio de 16,84 V y una corriente de 3,45 A en un día medianamente nublado con eventos solares aleatorios, lo que representa un funcionamiento adecuado del panel, ya que según el fabricante, el mismo debe llegar a un voltaje máximo (V_{mp}) de 17,8 V y una corriente máxima (I_{mp}) de 7,87 A; lo que se traduce en condiciones nominales de trabajo del panel fotovoltaico.

Además, en el Anexo C se muestra los resultados de la curva de P-V el panel fotovoltaico de marca Simax SP636 que integran la planta solar del laboratorio de Energías Renovables.

Tabla 5.2: Curva P-V panel Simax SP636-horario matutino

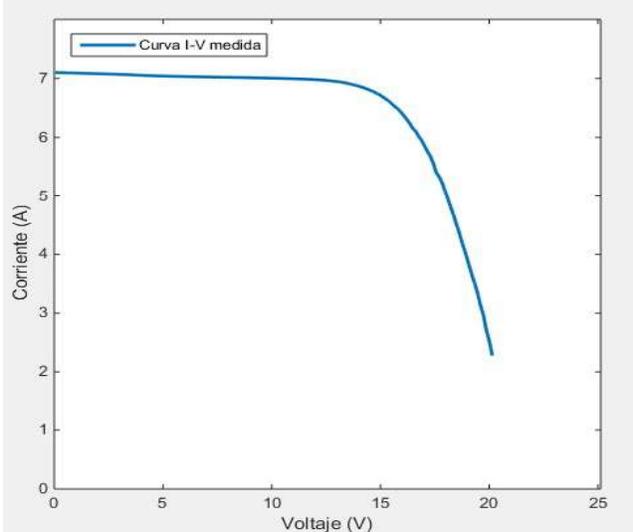
Curva	Parámetros
	$I_{SC} = 5,02 A$ $V_{mp} = 18,4 V$ $I_{mp} = 4,07 A$ $V_{OC} = 19,08 V$ $P_{max} = 74,8 W$
<p>En la curva se puede observar el comportamiento del panel fotovoltaico en forma individual, con respecto al voltaje y la potencia máxima, el voltaje máximo llega a 18,4 V y la potencia máxima a 74,8 W, lo que representa un trabajo eficiente del módulo porque aprovecha al máximo la poca cantidad de luz solar que recibe, efectuando una productividad correcta porque según los datos del fabricante Simax (Suzhou) Green New Energy Co, cuyo potencia máxima a altos valores de irradiación solar llega a 140 W cuando la corriente máxima es de 7,87 A; valores que demuestran el trabajo óptimo del panel, conservando poco desgaste.</p>	

La tabla 5.2 ilustra la curva P-V del panel solar Simax SP636 en un horario matutino, con datos recopilados desde las 09:30:19 A.M. hasta las 13:30:46 P.M.; que representan los datos graficados en MATLAB de voltaje versus potencia, demostrando que el panel ofrece una

potencia promedio de 57,50 W, en un día medianamente nublado con eventos solares aleatorios, lo que representa un funcionamiento adecuado del panel, ya que según el fabricante, el mismo debe llegar a una potencia máxima de 140 W, lo que demuestra que hay un aprovechamiento adecuado de la irradiación solar en condiciones nominales de trabajo.

También, en el Anexo C se muestra los resultados de la curva de I-V para el panel fotovoltaico de marca Ving Solar Spectrum YL235P, que integran la planta solar.

Tabla 5.3: Curva I-V panel Ving Solar Spectrum YL235P-horario matutino

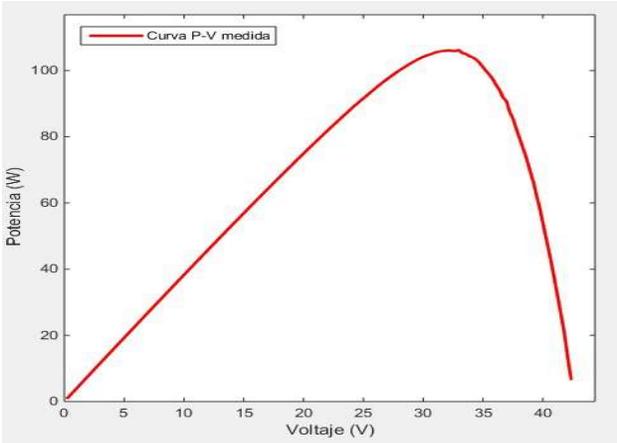
Curva	Parámetros
	$I_{SC} = 37,4 \text{ A}$ $V_{mp} = 24,45 \text{ V}$ $I_{mp} = 7,43 \text{ A}$ $V_{OC} = 20,27 \text{ V}$ $P_{max} = 181,6 \text{ W}$
<p>En la curva se puede observar el comportamiento del panel fotovoltaico en forma individual, en esta el voltaje máximo llega a 24,45 V y la corriente máxima a 7,43 A, factor determinante para la potencia que hace que alcance un valor de 181,6 W; lo que concuerda con los datos del fabricante Ving Solar cuyo voltaje máximo estima en 29,1 V $\pm 10\%$ y una corriente máxima de 8,08 A; demostrando que el panel fotovoltaico logra trabajar en condiciones adecuadas según la irradiación solar que dispone.</p>	

La tabla 5.3 ilustra la curva I-V del panel solar Ving Solar Spectrum YL235P en un horario matutino, con datos recopilados desde las 09:30:07 A.M. hasta las 13:30:20 P.M.; que representan los datos graficados en MATLAB de voltaje versus corriente, develando que el panel ofrece un voltaje promedio de 19,13 V y una corriente de 6,01 A en un día templado y nublado con irradiación solar en el transcurso del mediodía, lo que representa un funcionamiento apropiado del panel, porque según el fabricante, el mismo debe llegar a un

voltaje máximo (V_{mp}) de 29,1 V y una corriente máxima (I_{mp}) de 8,08 A; estimando las condiciones nominales de trabajo del panel fotovoltaico.

En la misma línea, el Anexo C muestra los resultados de la curva de P-V del panel fotovoltaico de marca Ving Solar Spectrum YL235P que integran la planta solar del laboratorio de Energías Renovables. Este panel es de mayor potencia que el módulo de Simax SP636, a su vez presenta mejores características de mantenimiento, al igual que en el panel anterior, se desea verificar las condiciones de operatividad, así como la productividad de energía del mismo, para estimar cuales son las curvas de I-V y P-V que proporciona el analizador de tensión y corriente continua multi-canal TRH16-RS485.

Tabla 5.4: Curva P-V panel Ving Solar Spectrum YL235P-horario matutino

Curva	Parámetros
	$I_{SC} = 37,4 \text{ A}$ $V_{mp} = 35,45 \text{ V}$ $I_{mp} = 5,12 \text{ A}$ $V_{OC} = 20,27 \text{ V}$ $P_{max} = 181,6 \text{ W}$
<p>En la curva se puede observar el comportamiento del panel fotovoltaico en forma individual, con respecto al voltaje y la potencia máxima, el voltaje máximo llega a 35,45 V y la potencia máxima a 181,6 W, lo que representa un trabajo eficiente del módulo porque aprovecha al máximo la poca cantidad de luz solar que recibe, efectuando una productividad correcta porque según los datos del fabricante Ving Solar, cuya potencia máxima a altos valores de irradiación solar llega a 235 W cuando la corriente máxima es de 8,08 A; valores que denotan la capacidad adecuada del panel fotovoltaico para la producción energética.</p>	

La tabla 5.4 ilustra la curva P-V del panel solar Ving Solar Spectrum YL235P en un horario matutino, con datos recopilados desde las 09:30:07 A.M. hasta las 13:30:20 P.M.; que representan los datos graficados en MATLAB de voltaje versus potencia, demostrando que el

panel ofrece una potencia promedio de 114,68 W, en un día medianamente nublado con eventos solares aleatorios, lo que representa un funcionamiento adecuado del panel, ya que según el fabricante, el mismo debe llegar a una potencia máxima de 235 W, lo que demuestra que hay un aprovechamiento adecuado de la irradiación solar en condiciones nominales de trabajo

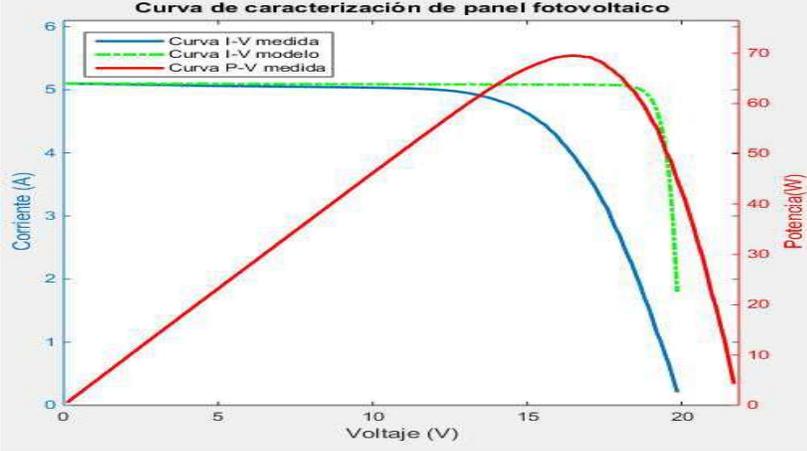
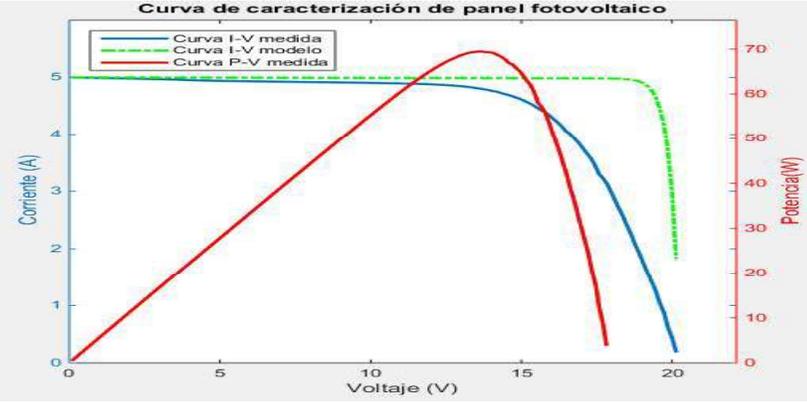
Finalmente, en el Anexo C además se muestra los resultados obtenidos para cada uno de los parámetros eléctricos adquiridos del sistema de caracterización de paneles fotovoltaicos.

Los datos en el Anexo C, en la Tabla C.5 muestran que a medida que la intensidad del sol sube en lo que respecta al ángulo de los paneles solares, el voltaje se va incrementando según la inclinación solar, mientras que la corriente va disminuyendo junto con la potencia. En lo que respecta al tiempo de respuesta del procesamiento de la información se tiene un valor de 4,38 segundos, lo que significa un tiempo adecuado para la toma de datos y adquisición entre el analizador TRH16-RS485 y MATLAB. Posterior a esta medición se realizó otra para verificar el comportamiento de los paneles solares en un horario superior a las 14h00 P.M.

Los datos recopilados en el Anexo C, en la Tabla C.6 se puede apreciar que en el horario de la tarde el comportamiento de los paneles fotovoltaicos dispone de un voltaje que va disminuyendo con el ocultamiento del sol a través de las nubes, lo que se replica en los niveles de corriente, mientras que la corriente tiene un valor que no disminuye notablemente, la potencia si se reduce con el pasar de las horas. El tiempo de procesado de la información oscila entre 4,09 segundos promedio, existe una adecuada velocidad de adquisición y procesamiento del analizador TRH16-RS485.

La tabla 5.5 muestra los resultados en MATLAB de la caracterización de las curvas de I-V y P-V con respecto a los paneles solares fotovoltaicos Simax SP636-14. Es importante reconocer las propiedades de la herramienta MATLAB para incorporar las curvas tanto de I-V como de P-V en una sola gráfica, además de la curva de valores nominales de fábrica para realizar la respectiva comparativa, del desgaste que han tenido los paneles fotovoltaicos con respecto a su productividad energética. Además, el sistema de caracterización de las curvas de operación de parámetros eléctricos I-V y P-V describen las características eléctricas fundamentales de la energía fotovoltaica por medio de gráficas para vislumbrar la corriente, voltaje y potencia máxima con la que está operando en condiciones normales los paneles fotovoltaicos; además develan la influencia de variables como la irradiación, la temperatura de la célula y la configuración eléctrica.

Tabla 5.5: Curvas de I-V y P-V de los paneles solares

Curva	Parámetros
	$I_{SC} = 5,10 A$ $V_{mp} = 17,8 V$ $I_{mp} = 7,87 A$ $V_{OC} = 20,27 V$ $P_{max} = 69,5 W$
<p>En la curva se puede observar la curva nominal de los paneles solares en color verde, que muestra que para una corriente de 5,9 A, el voltaje de operación del panel fotovoltaico bordea los 20 V en el punto máximo de irradiación solar. En lo que respecta a las mediciones, la corriente tiene un decaimiento con respecto al voltaje, que se produce desde aproximadamente los 11 V hasta llegar al voltaje de máxima potencia en 20 V. De esta manera, la potencia máxima de los paneles se da en 69,5 W con un voltaje de 18,29 V y una corriente de 4,08 A cerca de las 13:55:19 PM.</p>	
	$I_{SC} = 5,00 A$ $V_{mp} = 15,08 V$ $I_{mp} = 4,61 A$ $V_{OC} = 20,00 V$ $P_{max} = 68,2 W$
<p>En la segunda simulación, se puede apreciar el desgaste que han tenido los paneles solares, debido a que existe una diferencia entre la representación de la curva verde, que es la curva ideal; con respecto a las mediciones tomadas con el analizador TRH16; se puede observar que la corriente va decayendo con respecto al voltaje en aproximadamente a los 5 A y 5 V de operación, la corriente máxima de operación borde los 4,61 A hasta los 4,7 A aproximadamente; esto sin duda afecta al voltaje y la potencia máxima porque, como se ilustra en la curva, la potencia máxima es a los 68,2 W en aproximadamente 15,08 V o menor a este valor, lo que demuestra que el rendimiento del panel y la producción energética aún es efectiva, no hay un desgaste considerable.</p>	

En el Ecuador, la energía fotovoltaica; también se espera que crezca mucho más rápido que otras fuentes renovables, como la hidroeléctrica y la eólica, porque la energía solar es la fuente de energía renovable más abundante.

5.1 PRESUPUESTO

5.1.1 Costos directos

Para identificar los costos directos es necesario entender que son costos ya sean de productos, servicios o actividad, en nuestro caso se designó como costos directos a los equipos y materiales eléctricos para la implementación del sistema de caracterización. Como se detalla en la tabla 5.6 muestra los elementos eléctricos utilizados para la implementación del sistema de caracterización de curvas I-V y P-V en los paneles fotovoltaicos.

Tabla 5.6: Costos directos del sistema de caracterización

COSTOS DIRECTOS				
ELEMENTO	CANTIDAD	UNIDAD	PRECIO (\$/UNID)	COSTO (\$)
Equipo de monitorización tr16-rs485	2	C/u	600,00	1.200,00
Módulo de medida de corriente m/tr-25	4	C/u	290,10	1.160,40
Convertidor serial gcd rs485-usb	1	C/u	20,50	20,50
Conductores eléctricos flexible 12 awg	30	M	1	30,00
Cable de comunicación modbus rs485	1	C/u	12,00	12,00
Gabinete de acero inoxidable	1	C/u	37,85	37,85
Cable utp cat. 5e blindado	20	M	0,50	10,00
TOTAL				2.470.75

5.1.2 Costos indirectos

Para los costos indirectos se ha visto necesario entender que estos están vinculados al proceso que ayuda a la obtención del producto final como en nuestro caso los costos que se encuentran en la tabla 5.7.

Tabla 5.7: Costos indirectos del sistema de caracterización.

COSTOS INDIRECTOS		
ÍTEMS	DESCRIPCIÓN	VALOR
1	Transporte	100,00
2	Alimentación	50,00
3	Imprevisto	70,76
4	Impresiones y anillados	60,00
Total		360,00

La mano de obra directa está desarrollada por los investigadores, de esta manera la suma parcial tiene un valor de cero. Finalmente, la sumatoria de las categorías muestra el presupuesto de la propuesta tecnológica con impuesto incluido, estos valores económicos se muestran en la tabla 5.8.

Tabla 5.8: Costo total del sistema de caracterización.

COSTO TOTAL DEL PROYECTO		
ÍTEMS	DESCRIPCIÓN	VALOR
1	Costos directos	2.470,75
2	Costos indirectos	360,00
Total		2.830,75

El presupuesto de la propuesta tecnológica asciende a la cantidad de **DOS MIL OCHOCIENTOS TREINTA CON SETENTA Y CINCO CENTAVOS** ; dinero financiado por los investigadores.

5.2 IMPACTOS

5.2.1 Impacto social

La implementación de un sistema de caracterización de las curvas de operación de parámetros eléctricos I-V y P-V en paneles fotovoltaicos proporciona beneficios sociales debido a que

procura el avance de las tecnologías, que permitirá proporcionar energía eléctrica en lugares en donde no existe redes eléctricas de las diferentes empresas, además el uso eficiente de la energía solar, lo que implica para los postulantes de la propuesta tecnológica y para el resto de estudiantes que se orienten al área de las energías renovables, obtener oportunidades de trabajo en base a mejores prácticas laborales. Los aspectos sociales son las consideraciones básicas para el desarrollo de cualquier país. En este sentido el sistema de caracterización de las curvas de operación de I-V y P-V como parte integrante de los sistemas de energía renovable pueden aportar los siguientes beneficios sociales: empleo local, emprendimientos, oportunidades de trabajo y sostenibilidad energética a efecto de paneles fotovoltaicos monitoreados en cuanto a su potencia, voltaje y corriente máxima. La propuesta tecnológica junto con plantas fotovoltaicas óptimamente operativas puede aportar a la sustentabilidad de las energías alternativas para mejorar la calidad de vida de la sociedad, la seguridad y el confort.

5.2.2 Impacto tecnológico

La implementación de un sistema de caracterización de las curvas de operación de parámetros eléctricos I-V y P-V en paneles fotovoltaicos tiene un gran impacto tecnológico debido a que se podrá tener una conectividad entre los equipos TRH16 RS485 y el sistema fotovoltaico para la obtención de datos y la visualización de las curvas de operación de los paneles fotovoltaicos, como profesionales en una rama técnica, ayuda estar capacitados para diseñar y operar plantas fotovoltaicas; mucho más, dominar el uso de la metrología con dispositivos instrumentales como el TRH16 RS485 que permite validar la operatividad de los módulos fotovoltaicos. La tecnología fotovoltaica, en la actualidad es competitiva en términos de costos y los sistemas fotovoltaicos se están desplegando a gran escala por todo el mundo para ayudar a alimentar la red eléctrica, tener la competencia en este campo crea grandes oportunidades tecnológicas como la capacidad energética para el uso de vehículos eléctricos. Además, siendo la energía solar variable y, hasta cierto punto, impredecible, y la irradiación solar varía significativamente con la ubicación geográfica, es necesario mantener un monitoreo y control permanente de la producción energética de los paneles fotovoltaicos.

5.2.3 Impacto ambiental

La implementación de un sistema de caracterización de las curvas de operación de parámetros eléctricos I-V y P-V en paneles fotovoltaicos también ha contribuido a mejorar el impacto ambiental, debido a que el uso de paneles fotovoltaicos monitoreados con analizadores de voltaje y corriente como el TRH16-RS485 permite la reducción de los gases de dióxido de

carbono y la concienciación de la comunidad sobre el cambio climático. También, los proyectos de energías renovables son viables para aprovechar el potencial energético del sol, siempre y cuando haya el respectivo monitoreo de los parámetros de I-V y P-V para no incurrir en desperdicios de energía y ocupar el mayor rendimiento de los paneles fotovoltaicos y su capacidad de potencia máxima. Junto con plantas fotovoltaicas bien estructuradas con sistemas de caracterización de curvas de operación de parámetros eléctricos I-V y P-V, se pueden mantener los recursos naturales y mitigar el efecto invernadero, la contaminación atmosférica mediante el uso adecuado de las fuentes de energía renovables.

6 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 CONCLUSIONES

- El levantamiento de información mediante revisión bibliográfica e inspección visual para conocer el funcionamiento de sistemas de generación de curvas de operación I-V y P-V en paneles fotovoltaicos, ayudaron a reconocer el funcionamiento de la célula solar, sus diversos parámetros, que permiten entender la operatividad del panel. También, los factores que afectan a la potencia generada, como la eficiencia de conversión de potencia, la cantidad de luz solar, el área del panel, etc., que afectan al rendimiento de la corriente y el voltaje en la planta fotovoltaica.
- El diseño de un sistema capaz de adquirir y procesar los datos de los parámetros eléctricos corriente, voltaje y potencia en los paneles fotovoltaicos permitió crear un algoritmo (.m), capaz de interconectar el analizador TRH16-RS485 con la interfaz de MATLAB, a través de un conversor RS485 a USB, para establecer una conexión serial de 9600 baudios, que grafiquen tanto la curva de I-V como la de P-V para caracterizar el estado operativo de los paneles fotovoltaicos y valorar la potencia máxima.
- La aplicación del sistema de generación de curvas de operación de I-V y P-V mediante el uso de MATLAB, utilizando datos de radiación solar estándar para Ecuador, así como las características de salida del módulo fotovoltaico, demostró que el módulo es capaz de suministrar una potencia máxima de 227,8 W a la carga, bajo los efectos de una determinada irradiación $G=1 \text{ kW}/\text{m}^2$ y una temperatura $T=25^\circ\text{C}$, que se aproxima mucho al trabajo operativo de los paneles fotovoltaicos.

- La evaluación demuestra que el grupo de paneles Simax SP636 en un horario matutino con condiciones climáticas nublada y eventos solares aleatorios, de 9:30 A.M. hasta las 13:30 P.M., ofrecen un voltaje promedio de 16,84 V y una corriente de 3,45 A; además de una potencia promedio de 57,50 W. Por su parte, el grupo de paneles Ving Solar Spectrum YL235P, en el mismo horario de medición develan un voltaje promedio de 19,13 V y corriente de 6,01 A, con una potencia de 114,68 W en un día templado y nublado con irradiación solar en el transcurso del medio día.

6.2 RECOMENDACIONES

- Para futuros análisis de la estación fotovoltaica se recomienda la conexión a la red para obtener mejores datos sobre la producción energética.
- Los fallos del panel fotovoltaico son los relacionados con el diodo de derivación, las sobras parciales, la degradación, el envejecimiento, los puntos calientes, etc. El fallo asociado a un arreglo fotovoltaico es el desajuste de los módulos fotovoltaicos, que puede ser temporal o permanente. El desajuste temporal es el resultado de sombras parciales, una temperatura desigual de los módulos, mientras que el desajuste permanente es la causa de la degradación por envejecimiento, la creación de puntos calientes, etc. Todos estos fallos se simulan y se observan en las características del I-V y P-V, de ahí la importancia de su implementación.
- Es importante tomar en cuenta en la caracterización de las señales de I-V y P-V que un aumento de la irradiancia provoca generalmente un aumento de la corriente de salida del panel, mientras que un aumento de la temperatura de funcionamiento provoca principalmente una caída de la tensión en los terminales del módulo. Es decir, existe una relación lineal entre la corriente de cortocircuito y el nivel de irradiancia, mientras que existe una relación logarítmica entre la tensión en circuito abierto y la temperatura de funcionamiento.
- En el futuro, se puede desarrollar un algoritmo más robusto que detalle todas las características y puntos de análisis de las curvas de I-V y P-V del panel fotovoltaico, a partir del presente trabajo. La función (.m) o una interfaz GUI más detallada puede tener en cuenta el efecto del sombreado o de las sombras parciales en el funcionamiento del panel fotovoltaico. También pueden investigarse los efectos de la ampliación de las fuentes fotovoltaicas para determinar su idoneidad en el despliegue a gran escala.

7 BIBLIOGRAFÍA

- [1] M. Dávila, «Estudio de técnicas invasivas y no invasivas para evaluar el deterioro de paneles solares fotovoltaicos,» Universidad de Cuenca, Cuenca, 2020.
- [2] N. Mejías, S. Ruiz, N. Galán y I. Correa, «Caracterización eléctrica de un sistema fotovoltaico de 3 kWp de potencia conectado a red eléctrica,» *Revista de Sistemas Experimentales*, vol. IV, nº 3, pp. 1-12, 2017.
- [3] J. Armijos y C. Encarnación, «Análisis de un sistema fotovoltaico residencial acoplado a la red utilizando un convertidor Q-Z con acumuladores de energía,» Universidad Politécnica Salesiana, Cuenca, 2018.
- [4] E. Villegas y L. Alcivar, «Diseño de un sistema fotovoltaico para la Escuela de Educación Básica Simón Bolívar en la comunidad Masa 2, Guayaquil,» Universidad Politécnica Salesiana, Guayaquil, 2020.
- [5] L. Rengifo, «Diseño de un sistema de energía limpia y autosustentable mediante la implementación de paneles fotovoltaicos y banco de baterías para la recarga energética en vehículos eléctricos,» Universidad Internacional del Ecuador, Guayaquil, 2019.
- [6] S. Cushicóndor, «Estimación de irradiancia solar basada en modelos matemáticos y medición de variables eléctricas de paneles fotovoltaicos,» Escuela Politécnica Nacional, Quito, 2019.
- [7] A. Rueda, «Repotenciación y automatización del sistema de generación fotovoltaico para el laboratorio e invernadero de granos andinos en el campus Salache,» Universidad Técnica de Cotopaxi, Latacunga, 2020.
- [8] R. Alepuz, «Proyecto de instalación fotovoltaica de 5.8 MW para la generación de energía eléctrica, situada en Almansa,» Universidad Politécnica de Valencia, Valencia, 2018.
- [9] N. Atarama, «Evaluación del potencial de energía solar para generación de energía eléctrica, como un alternativa para disminuir el uso de combustibles fósiles,» Universidad Nacional de Piura, Piura, 2019.
- [10] J. Barbosa, «Estudio comparativo entre variables fotovoltaicas de dos sistemas de paneles solares (monocristalino y policristalino),» Universidad Sergio Arboleda, Bogotá, 2017.

- [11] J. Cepeda y A. Sierra, «Aspectos que afectan la eficiencia en los paneles fotovoltaicos y sus potenciales soluciones,» *Revista Universidad Santo Tomás*, vol. III, n° 7, pp. 36-49, 2017.
- [12] A. Crespo, «Diseño de una planta solar fotovoltaica de 300 kWp para autoconsumo con análisis de eficiencia energética en un centro comercial,» Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, Guayaquil, 2021.
- [13] E. Arcos, «Propuesta para el diseño de una planta fotovoltaica para su conexión a la red eléctrica nacional,» Universidad Nacional Autónoma de México, México D.F., 2019.
- [14] M. Greef, «Modelado de curvas corriente tensión y respuesta espectral de celdas solares y sensores ópticos de película delgada,» Universidad Nacional del Litoral, Santa Fe, 2017.
- [15] W. Cáceres y Á. Duarte, «Evaluación de alternativas para el dimensionamiento y mantenimiento de la instalación fotovoltaica en CENS,» Universidad Autónoma de Bucaramanga, Bucaramanga, 2021.
- [16] R. Hernández, «Análisis de factibilidad para la instalación de un sistema de energía limpia mediante celdas fotovoltaicas para la alimentación eléctrica del edificio 4 en el ITSLV,» Instituto Tecnológico Superior Tabasco, Villahermosa, 2017.
- [17] S. Ramos, «Fabricación y caracterización de celdas fotovoltaicas de perovskita de nueva composición,» Universidad de Sevilla, Sevilla, 2018.
- [18] J. Viera, «Diseño e implementación de un sistema de generación de energía eléctrica mediante celdas fotovoltaicas ubicada en las riveras del Río Payamino de la ciudad del Coca para la empresa Orellana Turismo E.P.,» Universidad Técnica de Ambato, Ambato, 2021.
- [19] J. Domínguez, A. Reyes y D. Sierra, «Cálculo y selección de un sistema fotovoltaico en una casa habitación con local comercial,» Instituto Politécnico Nacional, México D.F., 2018.
- [20] P. Mesones, «Dimensionamiento y selección de un sistema solar fotovoltaico de conexión a red para el restaurante "El Zarco" ubicado en la ciudad de Cajamarca,» Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo, Lambayeque, 2019.
- [21] M. Curi y A. Acuña, «Diseño, análisis e implementación de un prototipo de control difuso para el seguimiento del punto de máxima potencia en celdas fotovoltaicas,» Universidad de San Martín de Porres, Lima, 2018.

- [22] S. Salamanca, «Propuesta de diseño de un sistema de energía solar fotovoltaica: Caso de aplicación en la ciudad de Bogotá,» *Revista Científica*, vol. XXX, n° 3, pp. 263-277, 2017.
- [23] E. Portilla, «Diseño y caracterización de una planta solar como respuesta energética para un colegio indígena, ubicado en una Zona No Interconectada, dentro del convenio marco de cooperación interinstitucional 080 de 2019,» Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Caldas, 2020.
- [24] N. Nájura y M. Díaz, «Propuesta de diseño de un sistema solar fotovoltaico para iluminación en la Industria Textil SACSA,» Universidad Nacional de Ingeniería, Managua, 2018.
- [25] M. León, «Estudio técnico y económico para la implementación de paneles solares en el área administrativa de la Facultad Técnica para el Desarrollo de la UCSG,» Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, Guayaquil, 2018.
- [26] M. Patrone, «Control y gestión de energía en sistemas de potencia con fuentes renovables,» Universidad Nacional de Rosario, Rosario, 2020.
- [27] H. Barzola, «Optimización del diseño de paneles solares fotovoltaicos aplicando grafeno,» Universidad Continental, Huancayo, 2020.
- [28] J. Rojas, «Diseño de una central solar fotovoltaica de 30MW para su análisis técnico, operativo y económico en el SEIN, ubicado en Tacna,» Universidad Señor de Sipán, Pimentel, 2018.
- [29] A. Peralta, «Estudio experimental de un sistema de bombeo solar fotovoltaico en corriente continua,» Universidad Tecnológica del Perú, Arequipa, 2018.
- [30] J. Espinoza, «Operación desacoplada de una granja de generación eléctrica en base a paneles solares para la compensación independiente de potencia reactiva,» Universidad de Concepción, Concepción, 2020.
- [31] A. Díaz, J. Ruiz y L. Rivera, «Propuesta de rediseño del suministro eléctrico para el sistema de iluminación de un taller mecánico utilizando energía fotovoltaica,» Instituto Politécnico Nacional, México D.F., 2018.
- [32] A. Tello, «Sistema de seguimiento automático del sol para optimizar la captación de energía en celdas fotovoltaicas,» Universidad de las Fuerzas Armadas, Latacunga, 2017.
- [33] A. Cerrón, «Dimensionamiento del potencial fotovoltaico para el funcionamiento de una planta desalinizadora por ósmosis inversa en la gramita, Casma,» Universidad Nacional Federico Villareal, Lima, 2019.

- [34] J. Luna, «Implementación de la técnica Perturbar y Observar para el seguimiento del punto de máxima potencia ante sombreado parcial,» Tecnológico Nacional de México, Cuernavaca, 2019.
- [35] V. Serrano, M. Villena, D. Hoyos y C. Cadena, «Diseño de inversores fotovoltaicos con transformadores de bajo costo,» *Revista Universidad Nacional de Salta*, vol. XXVI, n° 12, pp. 18-31, 2019.
- [36] K. Vera, «Diseño de un sistema de microgeneración fotovoltaico, conectado a la red de distribución de baja tensión para la Facultad de la Energía, las Industrias y los Recursos Naturales No Renovables considerando la regulación Arconel 003/18,» Universidad Nacional de Loja, Loja, 2021.
- [37] S. España, «Ecuador sube el salario básico a 425 dólares tras aumentar la carga de impuestos,» *El país*, 14 Diciembre 2021.

ANEXOS

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y
APLICADAS

TITULACIÓN:

GRADO EN INGENIERÍA ELECTROMECÁNICA

ANEXO A: DIAGRAMA ELÉCTRICO



TÍTULO:

IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA PARA CARACTERIZACIÓN DE LOS
PARÁMETROS DE CORRIENTE-VOLTAJE Y POTENCIA-VOLTAJE EN PANELES
FOTOVOLTAICOS

AUTORES:

Luis Jacinto Chasi Toapanta

Fredy Rubén Pilatasig Ugsha

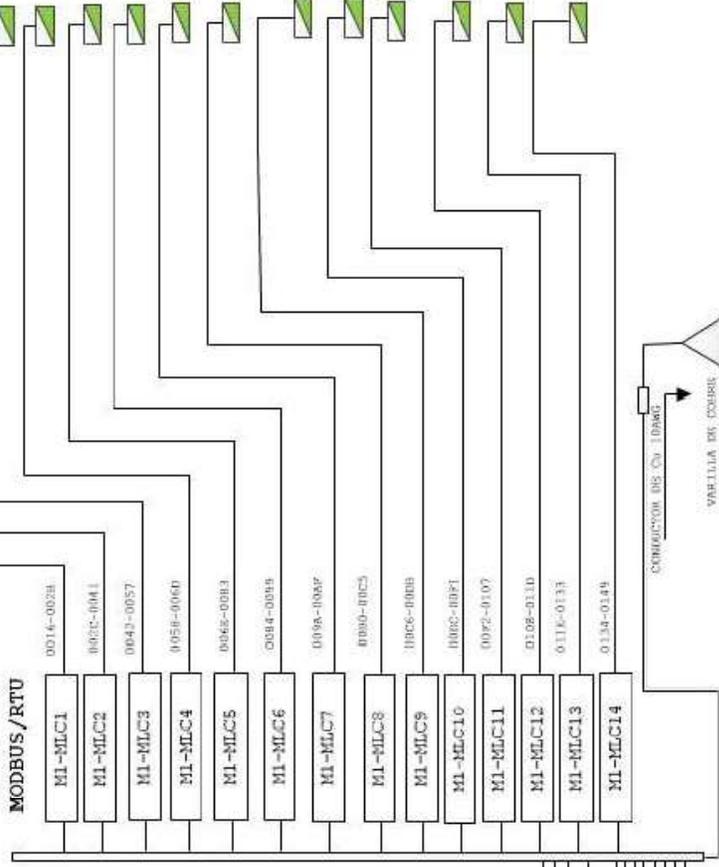
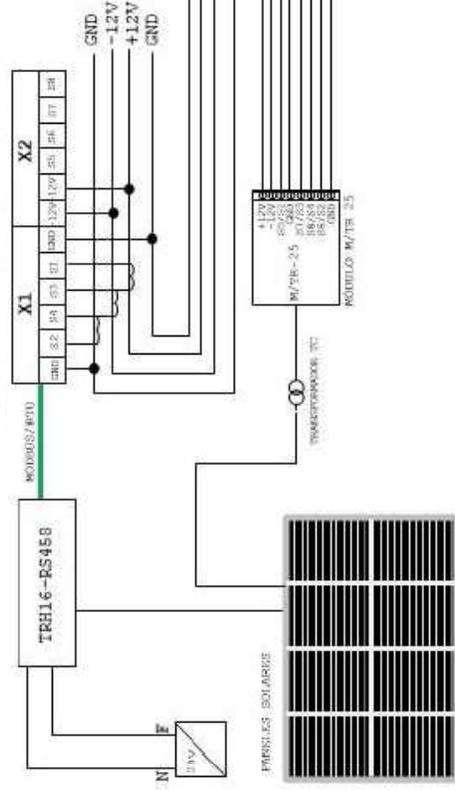


UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
Octubre 2021 - Marzo 2022



SÍMBOLO	DESCRIPCIÓN
↓	CARGA
⌋	INTERRUPTOR TERMOMAGNÉTICO
●	BIUDO
⊙	TRANSFORMADOR TC
▬	TABLERO PRINCIPAL
⊕	FUENTE DE VOLTAJE
TRH16-RS458	TRH16-RS458
M/TR-25	MÓDULO M/TR-25

EESQUEMA DE CONEXIÓN DEL TRH16-RS458



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
 AUTORES: CHASI TOAPANTA LUIS JACINTO
 PILATASIG UGSHA FREDY RUBÉN
 TEMA: SISTEMA CARACTERIZACIÓN CURVAS I-V Y P-V
 TUTOR: ING. LUIS ROLANDO CRUZ PANCHI, MSC.
 FECHA: 26-02-2022
 FORMATO: A3
 REFERENCIA: CURVAS I-V Y P-V
 FLAJO: DIAGRAMA DE RED
 LAMINA: A-01

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y
APLICADAS

TITULACIÓN:

GRADO EN INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA

ANEXO B: CÓDIGO GENERADO EN MATLAB



TÍTULO:

IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA PARA CARACTERIZACIÓN DE LOS
PARÁMETROS DE CORRIENTE-VOLTAJE Y POTENCIA-VOLTAJE EN PANELES
FOTOVOLTAICOS

AUTORES:

Luis Jacinto Chasi Toapanta

Fredy Rubén Pilatasig Ugsha



ANEXO B	CÓDIGO GENERADO EN MATLAB	2 de 3
----------------	--------------------------------------	---------------

```

%*****
%UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
% Autores:
%Chasi Toapanta Luis Jacinto
%Pilatasig Ugsha Fredy Rubén
%
%Tutor:
%Ing. Luis Rolando Cruz Panchi. MSc
%*****
function CurvaIVPV
    global pv;
    function Open(~,~)
        filename = uigetfile('*.xlsx');
        if isequal(filename,0)
            return;
        end
        pv.Imp = xlsread(filename,n_sheet, 'B10:B10'); % Imp
        pv.Vmp = xlsread(filename,n_sheet, 'B9:B9'); % Vmp
        pv.Isc = xlsread(filename,n_sheet, 'B7:B7'); % Isc
        pv.Voc = xlsread(filename,n_sheet, 'B6:B6'); % Voc
        pv.G = xlsread(filename,n_sheet, 'B14:B14'); % Irradiación
        pv.TC = xlsread(filename,n_sheet, 'B13:B13'); % Temperatura
        pv.FF_m = xlsread(filename,n_sheet, 'B12:B12'); % Fact.rellen
        pv.Pmāx_m = xlsread(filename,n_sheet, 'B8:B8'); % Pmax
        pv.V = xlsread(filename,n_sheet, 'A18:A166'); %V medido
        pv.I = xlsread(filename,n_sheet, 'B18:B166'); % I medida
        pv.P = xlsread(filename,n_sheet, 'C18:C166'); % P calculada

        set(hG, 'String', num2str(pv.G, '%0.0f'));
        set(hTC, 'String', num2str(pv.TC, '%0.1f'));
        set(hFFm, 'String', num2str(pv.FF_m, '%0.4f'));
        set(hIsc, 'String', num2str(pv.Isc, '%0.2f'));
        set(hVoc, 'String', num2str(pv.Voc, '%0.2f'));
        set(hImp, 'String', num2str(pv.Imp, '%0.2f'));
        set(hVmp, 'String', num2str(pv.Vmp, '%0.2f'));
        set(hMPPi, 'String', num2str(pv.Pmāx_m, '%0.1f'));
        cla;
        filechange;

    end

function filechange(~,~)
    cla;
    % Parámetros de entrada de los datos medidos
    Isc = pv.Isc;
    Voc = pv.Voc;
    TC = pv.TC;

    % Parámetros constantes

```



ANEXO B	CÓDIGO GENERADO EN MATLAB	3 de 3
<pre> Ns = str2double(get(hNs, 'String')); % Número de paneles Ki = str2double(get(hKi, 'String')); % Coef temp. de la I Kv = str2double(get(hKv, 'String')); % Coef temp. del V %Parámetros característicos A = str2double(get(hA, 'String')); % Factor de idealidad Rs = str2double(get(hRs, 'String')); % Resist. serie Rsh = str2double(get(hRsh, 'String')); % Resist. derivación q = 1.6e-19; % Carga eléctrica k = 1.38e-23; % Const. de Boltzmann TK = 273+TC; % Temp. en °C vt=(A*k*TK*Ns)/q; % Tensión térmica Isc_T = Isc+((Isc*(Ki/100))*(TC-25)); % Isc con Coef. Temp. Voc_T = Voc+((Voc*(Kv/100))*(TC-25)); % Voc con Coef. Temp. I0 = Isc_T/(exp(Voc_T/vt)-1); % Corriente saturación inversa IL = Isc_T; V = pv.V; I = pv.I; P = pv.P; % Datos del modelo i = 0; % Ajustar la corriente inicial i=0 I_tmp = zeros(1,length(V)); for idx = 1:length(V) I_tmp(idx)= IL - I0*(exp((V(idx)+(i*Rs))/vt)-1)- ((V(idx)+(i*Rs))/Rsh); % Ecuación del modelo FbV i = I_tmp(idx); % Actualizar la corriente end I_model = I_tmp'; % Modelo actual set(hIL, 'String', num2str(IL, '%0.2f')); set(hI0, 'String', num2str(I0, '%10.1e')); ##### GRAFICA DE LAS CURVAS I-V Y P-V ##### plot(V,I, 'linewidth',2); % plot of measured I-V curve hold on ylim([0 max(I)+2]); xlim([0 max(V)+2]) xlabel('Voltaje (V)'); ylabel('Corriente (A)'); MAE_IV = sum(abs(I-I_model))/149; MAEP_IV = (MAE_IV/mean(I))*100; set(hMAE, 'String', num2str(MAE_IV, '%0.4f')); set(hMAEP, 'String', num2str(MAEP_IV, '%0.4f')); legend('Location', 'Northwest', 'Curva I-V medida', 'Curva I-V modelo', 'Curva P-V medida') grid off; end </pre>		



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y
APLICADAS

TITULACIÓN:

GRADO EN INGENIERÍA ELECTROMECÁNICA

ANEXO C: MÉTRICAS DE LOS PANELES
FOTOVOLTAICOS



TÍTULO:

IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA PARA CARACTERIZACIÓN DE LOS
PARÁMETROS DE CORRIENTE-VOLTAJE Y POTENCIA-VOLTAJE EN PANELES
FOTOVOLTAICOS

AUTORES:

Luis Jacinto Chasi Toapanta

Fredy Rubén Pilatasig Ugsha



Tabla C.1: Resultados curva I-V panel Simax SP636-horario matutino

		LABORATORIO DE ENERGÍAS RENOVABLES		Fecha: 14-02-2022	
				Responsables: Luis Chasi y Fredy Pilatasig	
		CARACTERIZADOR DE PANELES FOTOVOLTAICOS		Hora: 09:30 A.M.	
				Ángulo PV: 75°	
Fecha	Hora	Voltaje (V)	Corriente (A)	Tiempo de respuesta	
14/02/2022	09:30:19 AM	15,33	4,371	4,6 seg.	
14/02/2022	09:40:33 AM	16,67	3,422	3,4 seg.	
14/02/2022	09:50:41 AM	15,49	3,278	5,3 seg.	
14/02/2022	10:00:37 AM	15,72	4,356	2,2 seg.	
14/02/2022	10:10:14 AM	15,38	4,213	3,5 seg.	
14/02/2022	10:20:07 AM	16,46	4,567	3,6 seg.	
14/02/2022	10:30:12 AM	16,43	4,417	4,3 seg.	
14/02/2022	10:40:55 AM	16,58	4,548	3,5 seg.	
14/02/2022	10:50:32 AM	16,77	4,361	2,7 seg.	
14/02/2022	11:00:28 AM	16,29	3,612	4,4 seg.	
14/02/2022	11:10:36 AM	16,18	3,196	5,2 seg.	
14/02/2022	11:20:57 AM	16,35	3,273	3,9 seg.	
14/02/2022	11:30:42 AM	17,42	3,259	4,4 seg.	
14/02/2022	11:40:28 AM	17,71	3,437	2,3 seg.	
14/02/2022	11:50:11 AM	17,53	3,324	3,5 seg.	
14/02/2022	12:00:40 AM	16,64	3,419	2,6 seg.	
14/02/2022	12:10:17 AM	17,32	2,820	4,8 seg.	
14/02/2022	12:20:29 AM	16,88	2,653	3,4 seg.	
14/02/2022	12:30:35 PM	17,62	2,528	3,5 seg.	
14/02/2022	12:50:46 PM	18,26	2,364	4,2 seg.	
14/02/2022	13:10:13 PM	18,43	2,227	3,6 seg.	
14/02/2022	13:30:46 PM	19,08	2,165	2,7 seg.	
PROMEDIO		16,84	3,45	3,71 seg.	



Tabla C.2: Resultados curva P-V panel Simax SP636-horario matutino

		LABORATORIO DE ENERGÍAS RENOVABLES		Fecha: 14-02-2022	
				Responsables: Luis Chasi y Fredy Pilatasig	
		CARACTERIZADOR DE PANELES FOTOVOLTAICOS		Hora: 09:30 A.M.	
				Ángulo PV: 75°	
Fecha	Hora	Voltaje (V)	Potencia (W)	Tiempo de respuesta	
14/02/2022	09:30:19 AM	15,33	67,01	4,6 seg.	
14/02/2022	09:40:33 AM	16,67	57,04	3,4 seg.	
14/02/2022	09:50:41 AM	15,49	50,78	5,3 seg.	
14/02/2022	10:00:37 AM	15,72	68,48	2,2 seg.	
14/02/2022	10:10:14 AM	15,38	64,80	3,5 seg.	
14/02/2022	10:20:07 AM	16,46	75,17	3,6 seg.	
14/02/2022	10:30:12 AM	16,43	72,57	4,3 seg.	
14/02/2022	10:40:55 AM	16,58	75,41	3,5 seg.	
14/02/2022	10:50:32 AM	16,77	73,13	2,7 seg.	
14/02/2022	11:00:28 AM	16,29	58,84	4,4 seg.	
14/02/2022	11:10:36 AM	16,18	51,71	5,2 seg.	
14/02/2022	11:20:57 AM	16,35	53,51	3,9 seg.	
14/02/2022	11:30:42 AM	17,42	56,77	4,4 seg.	
14/02/2022	11:40:28 AM	17,71	60,87	2,3 seg.	
14/02/2022	11:50:11 AM	17,53	58,27	3,5 seg.	
14/02/2022	12:00:40 AM	16,64	56,89	2,6 seg.	
14/02/2022	12:10:17 AM	17,32	48,84	4,8 seg.	
14/02/2022	12:20:29 AM	16,88	44,78	3,4 seg.	
14/02/2022	12:30:35 PM	17,62	44,54	3,5 seg.	
14/02/2022	12:50:46 PM	18,26	43,17	4,2 seg.	
14/02/2022	13:10:13 PM	18,43	41,04	3,6 seg.	
14/02/2022	13:30:46 PM	19,08	41,31	2,7 seg.	
PROMEDIO		16,84	57,50	3,71 seg.	



Tabla C.3: Resultados curva I-V panel Ving Solar Spectrum YL235P-horario matutino

		LABORATORIO DE ENERGÍAS RENOVABLES		Fecha: 17-02-2022	
				Responsables: Luis Chasi y Fredy Pilatasig	
		CARACTERIZADOR DE PANELES FOTOVOLTAICOS		Hora: 09:30 A.M.	
				Ángulo PV: 75°	
Fecha	Hora	Voltaje (V)	Corriente (A)	Tiempo de respuesta	
17/02/2022	09:30:07 AM	16,21	6,215	3,9 seg.	
17/02/2022	09:40:20 AM	16,46	5,163	5,2 seg.	
17/02/2022	09:50:32 AM	17,58	6,371	2,6 seg.	
17/02/2022	10:00:18 AM	16,81	5,292	2,7 seg.	
17/02/2022	10:10:26 AM	16,49	6,314	2,4 seg.	
17/02/2022	10:20:41 AM	16,67	5,129	3,6 seg.	
17/02/2022	10:30:27 AM	17,74	5,510	5,5 seg.	
17/02/2022	10:40:45 AM	17,63	5,484	2,1 seg.	
17/02/2022	10:50:22 AM	17,83	6,219	4,8 seg.	
17/02/2022	11:00:58 AM	17,37	6,332	5,3 seg.	
17/02/2022	11:10:26 AM	18,58	6,624	3,7 seg.	
17/02/2022	11:20:34 AM	18,66	7,433	4,3 seg.	
17/02/2022	11:30:49 AM	18,24	7,196	5,5 seg.	
17/02/2022	11:40:37 AM	18,13	6,237	3,9 seg.	
14/02/2022	11:50:25 AM	19,48	6,581	4,6 seg.	
17/02/2022	12:00:11 AM	20,26	5,625	4,2 seg.	
17/02/2022	12:10:08 AM	20,19	6,732	3,3 seg.	
17/02/2022	12:20:44 AM	21,85	6,486	5,7 seg.	
17/02/2022	12:30:37 PM	22,23	5,372	4,4 seg.	
17/02/2022	12:50:21 PM	24,45	5,438	2,8 seg.	
17/02/2022	13:10:19 PM	23,61	5,188	4,2 seg.	
17/02/2022	13:30:20 PM	24,34	5,367	3,5 seg.	
PROMEDIO		19,13	6,01	4,01 seg.	



Tabla C.4: Resultados curva P-V panel Ving Solar Spectrum YL235P-horario matutino

		LABORATORIO DE ENERGÍAS RENOVABLES		Fecha: 17-02-2022	
		CARACTERIZADOR DE PANELES FOTOVOLTAICOS		Responsables: Luis Chasi y Fredy Pilatasig	
				Hora: 09:30 A.M.	
				Ángulo PV: 75°	
Fecha	Hora	Voltaje (V)	Fecha	Hora	
17/02/2022	09:30:07 AM	16,21	17/02/2022	09:30:07 AM	
17/02/2022	09:40:20 AM	16,46	17/02/2022	09:40:20 AM	
17/02/2022	09:50:32 AM	17,58	17/02/2022	09:50:32 AM	
17/02/2022	10:00:18 AM	16,81	17/02/2022	10:00:18 AM	
17/02/2022	10:10:26 AM	16,49	17/02/2022	10:10:26 AM	
17/02/2022	10:20:41 AM	16,67	17/02/2022	10:20:41 AM	
17/02/2022	10:30:27 AM	17,74	17/02/2022	10:30:27 AM	
17/02/2022	10:40:45 AM	17,63	17/02/2022	10:40:45 AM	
17/02/2022	10:50:22 AM	17,83	17/02/2022	10:50:22 AM	
17/02/2022	11:00:58 AM	17,37	17/02/2022	11:00:58 AM	
17/02/2022	11:10:26 AM	20,58	17/02/2022	11:10:26 AM	
17/02/2022	11:20:34 AM	25,66	17/02/2022	11:20:34 AM	
17/02/2022	11:30:49 AM	24,24	17/02/2022	11:30:49 AM	
17/02/2022	11:40:37 AM	28,13	17/02/2022	11:40:37 AM	
14/02/2022	11:50:25 AM	26,48	14/02/2022	11:50:25 AM	
17/02/2022	12:00:11 AM	20,26	17/02/2022	12:00:11 AM	
17/02/2022	12:10:08 AM	20,19	17/02/2022	12:10:08 AM	
17/02/2022	12:20:44 AM	29,85	17/02/2022	12:20:44 AM	
17/02/2022	12:30:37 PM	30,23	17/02/2022	12:30:37 PM	
17/02/2022	12:50:21 PM	35,45	17/02/2022	12:50:21 PM	
17/02/2022	13:10:19 PM	23,61	17/02/2022	13:10:19 PM	
17/02/2022	13:30:20 PM	24,34	17/02/2022	13:30:20 PM	
PROMEDIO		19,13	114,68	PROMEDIO	



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
Octubre 2021 - Marzo 2022



Tabla C.5: Resultados del sistema de caracterización-horario matutino

		LABORATORIO DE ENERGÍAS RENOVABLES		Fecha: 21-02-2022	
				Responsables: Luis Chasi y Fredy Pilatasig	
		CARACTERIZADOR DE PANELES FOTOVOLTAICOS		Hora: 10:25 A.M.	
				Ángulo PV: 75°	
Fecha	Hora	Voltaje (V)	Corriente (A)	Potencia (W)	Tiempo de respuesta
21/02/2022	10:25:43 AM	15,59	4,44	69,239	3,2 seg.
21/02/2022	10:35:40 AM	15,72	4,372	68,7598	4,3 seg.
21/02/2022	10:45:45 AM	15,86	4,317	68,4755	2,5 seg.
21/02/2022	10:55:35 AM	15,99	4,25	67,9833	3,7 seg.
21/02/2022	11:05:12 AM	16,12	4,167	67,2059	2,4 seg.
21/02/2022	11:15:16 AM	16,26	4,098	66,6467	4,1 seg.
21/02/2022	11:25:20 AM	16,39	4,014	65,8178	3,2 seg.
21/02/2022	11:35:40 AM	16,52	3,947	65,2363	2,4 seg.
21/02/2022	11:45:31 AM	16,66	3,843	64,0334	5,8 seg.
21/02/2022	11:55:17 AM	16,79	3,754	63,0456	2,9 seg.
21/02/2022	12:05:29 AM	16,92	3,675	62,2207	3,7 seg.
21/02/2022	12:15:42 AM	17,05	3,568	60,8836	4,8 seg.
21/02/2022	12:25:16 AM	17,19	3,467	59,611	3,9 seg.
21/02/2022	12:35:17 PM	17,32	3,348	58,0193	5,6 seg.
21/02/2022	12:45:28 PM	17,45	3,226	56,3279	4,6 seg.
21/02/2022	12:55:33 PM	17,59	3,124	54,9649	5,3 seg.
21/02/2022	13:05:24 PM	17,72	2,969	52,6349	3,1 seg.
21/02/2022	13:15:37 PM	17,85	2,813	50,2518	5,7 seg.
21/02/2022	13:25:41 PM	17,99	2,698	48,554	2,3 seg.
21/02/2022	13:35:40 PM	18,12	2,526	45,7868	4,8 seg.
21/02/2022	13:45:12 PM	18,25	2,38	43,4725	5,5 seg.
21/02/2022	13:55:19 PM	18,39	2,237	41,1495	5,9 seg.
PROMEDIO					4,38 seg.



Tabla C.6: Resultados del sistema de caracterización-horario vespertino

		LABORATORIO DE ENERGÍAS RENOVABLES		Fecha: 21-02-2022	
				Responsables: Luis Chasi y Fredy Pilatasig	
		CARACTERIZADOR DE PANELES FOTOVOLTAICOS		Hora: 14:30 P.M.	
				Ángulo PV: 75°	
Fecha	Hora	Voltaje (V)	Corriente (A)	Potencia (W)	Tiempo de respuesta
21/02/2022	14:30:23 PM	16,29	4,089	66,609	4,5 seg.
21/02/2022	14:35:15 PM	12,68	4,979	63,133	5,2 seg.
21/02/2022	14:40:21 PM	11,45	5,018	57,456	3,8 seg.
21/02/2022	14:45:22 PM	10,56	5,029	53,106	2,4 seg.
21/02/2022	14:50:32 PM	9,32	5,039	46,963	4,3 seg.
21/02/2022	15:00:46 PM	8,18	5,046	41,276	3,6 seg.
21/02/2022	15:05:34 PM	7,71	5,048	38,920	5,1 seg.
21/02/2022	15:10:18 PM	7,33	5,05	37,0202	3,9 seg.
21/02/2022	15:15:26 PM	8,13	5,046	41,0273	4,5 seg.
21/02/2022	15:20:17 PM	7,33	5,05	37,0202	3,3 seg.
21/02/2022	15:25:39 PM	6,93	5,052	35,014	4,7 seg.
21/02/2022	15:30:21 PM	6,53	5,053	33,0061	2,2 seg.
21/02/2022	15:35:19 PM	6,39	5,054	32,3364	5,4 seg.
21/02/2022	15:45:47 PM	6,13	5,055	30,9966	6,5 seg.
21/02/2022	16:00:18 PM	5,99	5,056	30,3264	3,8 seg.
21/02/2022	16:20:13 PM	5,59	5,058	28,315	4,8 seg.
21/02/2022	16:40:44 PM	5,46	5,058	27,6442	2,6 seg.
21/02/2022	17:00:27 PM	5,19	5,06	26,3037	3,4 seg.
21/02/2022	17:15:31 PM	4,93	5,062	24,9632	4,5 seg.
21/02/2022	17:30:20 PM	4,66	5,063	23,6218	2,7 seg.
21/02/2022	17:50:42 PM	4,39	5,065	22,28	5,2 seg.
21/02/2022	18:00:33 PM	4,26	5,067	21,6114	3,5 seg.
PROMEDIO					4,09 seg.



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y
APLICADAS

TITULACIÓN:

GRADO EN INGENIERÍA ELECTROMECÁNICA

ANEXO D: REGISTRO FOTOGRÁFICO



TÍTULO:

IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA PARA CARACTERIZACIÓN DE LOS
PARÁMETROS DE CORRIENTE-VOLTAJE Y POTENCIA-VOLTAJE EN PANELES
FOTOVOLTAICOS

AUTORES:

Luis Jacinto Chasi Toapanta

Fredy Rubén Pilatasig Ugsha



DISEÑO



Fotografía C.1: Paneles fotovoltaicos
Fuente: Carrera de Electromecánica



Fotografía C.2: Planta Fotovoltaica
Fuente: Carrera de Electromecánica



Fotografía C.3: Laboratorio de Energía Renovable
Fuente: Carrera de Electromecánica



Fotografía C.4: Conexión al computador
Fuente: Carrera de Electromecánica



Fotografía C.5: Caja de In/Out de los paneles
Fuente: Carrera de Electromecánica



Fotografía C.6: Caja de In/Out Inversor
Fuente: Carrera de Electromecánica



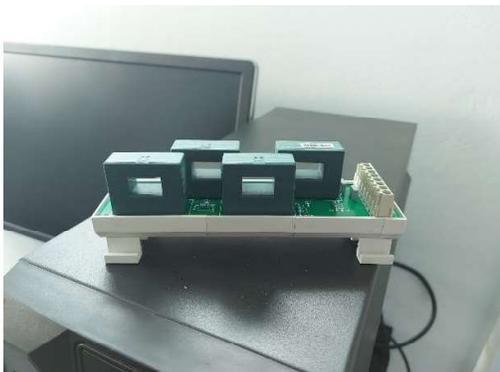
IMPLEMENTACIÓN



Fotografía C.7: Armario flotante para equipos
Fuente: Carrera de Electromecánica



Fotografía C.8: Conexión del sistema
Fuente: Carrera de Electromecánica



Fotografía C.9: Conexión de los TC's
Fuente: Carrera de Electromecánica



Fotografía C.10: Ensamblado de los TC's
Fuente: Carrera de Electromecánica



Fotografía C.11: Conexión del TRH16-RS485
Fuente: Carrera de Electromecánica



Fotografía C.12: Conexión Serial puerto USB
Fuente: Carrera de Electromecánica

