



**Sistema de Medición de Variables Eléctricas en Instalaciones  
de Generación de Energía Solar Fotovoltaica en la  
Universidad Antonio Nariño Sede Cúcuta**

**Eduar Andrés Gómez Duque**

Universidad Antonio Nariño

Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica Y Biomédica

Programa De Ingeniería Electromecánica

San José de Cúcuta

2021

# **Sistema de Medición de Variables Eléctricas en Instalaciones de Generación de Energía Solar Fotovoltaica en la Universidad Antonio Nariño Sede Cúcuta**

**Eduar Andrés Gómez Duque**

Proyecto de grado presentado como requisito parcial para optar al título de:

**Ingeniero Electromecánico**

Director:

Doctor Antonio Gan Acosta

Codirector:

M.SC. Ingeniero Mecánico Ciro Antonio Carvajal Labastida

Línea de Investigación:

Energías Renovables

Universidad Antonio Nariño

Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica Y Biomédica

Programa De Ingeniería Electromecánica

San José de Cúcuta

2021

**Página de aceptación**

## **Página de autorización**

## **Dedicatoria**

*A Dios, por ser darme fuerza para continuar  
en este proceso de obtener uno de los anhelos más deseados.*

*A mis padres por ser los motores de este triunfo,  
gracias por su apoyo incondicional, por sus oraciones y creer en mí.*

## Agradecimientos

El autor expresa sus agradecimientos a:

Ing. Msc. CIRO ANTONIO CARVAJAL LABASTIDA, Ingeniero, Coordinador de la Facultad de Ingeniería Electromecánica de la Universidad Antonio Nariño.

Ing. Ph D. ANTONIO GAN ACOSTA, Ingeniero de la Facultad de Ingeniería Electromecánica de la Universidad Antonio Nariño, por su ayuda incondicional como asesor.

# Resumen

El trabajo de grado está orientado al diseño de un sistema de medición de variables eléctricas con tecnología Arduino en instalaciones de generación de energía solar fotovoltaica en la Universidad Antonio Nariño, sede Cúcuta. Actualmente, los estudiantes de la Universidad Antonio Nariño sede Cúcuta, tienen una interacción cultural y trabajo constante en lo relacionado con las energías renovables, debido al desarrollo de varios trabajos de grado que se han venido implementando en la sede con respecto a este tipo de energías, que han hecho que el estudiante tome conciencia de la crisis actual del medio ambiente a nivel mundial y nacional, ya que existe un alto porcentaje de energía extraída de los combustibles fósiles, fuentes hídricas y energía nuclear, las cuales afectan altamente el medio ambiente. Esto nos lleva a reflexionar sobre la importancia de crear laboratorios para que el estudiante manipule de primera mano energías renovables y lo lleve a contemplar el desarrollo de diseños y aplicaciones de las energías renovables en la industria y la vida cotidiana de nuestros hogares, teniendo en cuenta que Colombia por su posición geográfica es un país privilegiado para el desarrollo de este tipo de energías.

El diseño del sistema se enfoca en buscar el mejor laboratorio en cuanto a tecnología de punta y bajos costos, basado en un modelo matemático que permita al estudiante realizar un aprendizaje continuo sobre el diseño, aplicación, control y medición de las variables eléctricas que intervienen en sistemas de energía solar fotovoltaica.

**PALABRAS CLAVE:** Mediciones, corriente, voltaje, energía solar, fotovoltaica, datos.

## **Abstract**

This degree work is oriented to the design of an electrical variables measurement system with Arduino technology in photovoltaic solar energy generation facilities at the Antonio Nariño University, Cúcuta headquarters. Currently, the students of the Universidad Antonio Nariño, Cúcuta headquarters have a cultural interaction and constant work in relation to renewable energies, due to the development of several degree projects that have been implemented in the headquarters with respect to this type of energy. that have made the student aware of the current global and national environmental crisis, since there is a high percentage of energy extracted from fossil fuels, water sources and nuclear energy, which highly affect the environment. This leads us to reflect on the importance of creating laboratories for the student to manipulate renewable energy first-hand and lead him to contemplate the development of designs and applications of renewable energy in industry and the daily life of our homes; taking into account that Colombia, due to its geographical position, is a privileged country for the development of this type of energy.

The design of the system focuses on finding the best laboratory in terms of cutting-edge technology and low costs, based on a mathematical model that allows the student to carry out continuous learning about the design, application, control and measurement of the electrical variables involved in photovoltaic solar energy systems

**KEY WORDS:** Measurement, current, voltage, solar energy, photovoltaics, data.



# Tabla de Contenido

Introducción	15
1. Fundamentación	17
1.1 El Problema	17
1.2 Justificación	17
1.3 Objeto	18
1.4 Objetivos	19
1.4.1 Objetivo General	19
1.4.2 Objetivos Específicos	19
1.5 Acotaciones	20
1.5.1 Alcance	20
1.5.2 Limitaciones	20
1.6 Legislación	21
1.6.1 Impacto Ambiental	21
1.6.2 Marco Internacional	22
1.6.3 Marco Nacional	23
1.6.4 Marco Institucional	23
1.6.5 Licenciamiento De Software	24
2. Argumentación	25
2.1 Antecedentes	25
2.1.1 Nivel Internacional	25
2.1.2 Nivel Nacional	26

	10
2.1.3 Nivel Local	27
2.2 Marco Teórico	28
2.2.1 La Energía Solar	28
2.2.2 ¿Qué es la energía solar fotovoltaica?	28
2.2.2.1 Celda solar	29
2.2.3 Sistemas de una instalación fotovoltaica	30
2.2.3.1 Generador fotovoltaico	31
2.2.3.2 Batería	31
2.2.3.3 Regulador	31
2.2.3.4 Inversor	32
2.2.4 Factores de eficiencia de un panel fotovoltaico	32
2.2.4.1 Punto de máxima potencia	34
2.2.4.2 Eficiencia en la conversión de energía	36
2.2.5 Factores que afectan el rendimiento de un panel fotovoltaico	36
2.2.5.1 Energía de la luz incidente	36
2.2.5.2 Reflexión	37
2.2.5.3 Efecto de la sombra	37
2.2.5.4 Efecto de la orientación e inclinación	38
2.2.5.5 Efectos de la temperatura	38
2.2.5.6 Suciedad y polvo	39
2.2.5.7 Pérdidas por acoplamiento y cableado	40
2.2.5.8 Pérdidas de conversión dc a ac	40
3. Metodología	41
3.1 Tipo de investigación	41

	11
3.2 Marco estratégico táctico	42
3.3 Plan de trabajo	42
3.3.1 Etapa 1	42
3.3.2 Etapa 2	43
3.3.3 Etapa 3	44
4. Desarrollo del proyecto	45
4.1 Etapa 1	45
4.1.1 Tecnología arduino.	45
4.1.1.1 Estudio hardware arduino	46
4.1.1.2 Programación	52
4.1.2 Sensores de corriente y voltaje	55
4.1.2.1 Sensor de corriente	55
4.1.2.2 Sensor de voltaje dc fz0430	58
4.1.2.3 Módulo sensor de voltaje alterno ac zmp101b	59
4.1.2.4 Módulo interfaz de potencia relé de 4 canales	62
4.1.3 Hardware y el software utilizado para el proceso de toma de datos	63
4.2 Etapa 2	64
4.2.1 Diseño del sistema de medición de variables eléctricas en instalaciones de energía solar fotovoltaica	65
4.2.1.1 Cálculo de la corriente de carga	66
4.2.1.2 Elementos de control en el circuito ac	67
4.2.1.3 Diseño instalación de generación solar fotovoltaica	68
4.2.1.4 Diseño del sistema de control y medición	73
4.2.2 Diseño del software para el sistema de medición con plataforma arduino	76

	12
4.2.2.1 Prueba para medición de corriente	76
4.3 Etapa 3	80
4.3.1 Diseño guías	80
4.4 Análisis económico	82
4.5 Análisis de impacto ambiental	84
4.6 Glosario	85
5. Conclusiones	87
6. Recomendaciones	88
Referencias Bibliográficas	89
Anexos	90
Anexo 1. Conexión básica para interconexión de elementos de energía solar Fotovoltaica	91
Anexo 2. Guías	94
Anexo 3. Manual del Usuario	96

# Lista de Figuras

	<b>pág.</b>
Figura 1. Celdas solares fotovoltaicas en conexión serie	30
Figura 2. Esquemas básicos de instalaciones fotovoltaicas	30
Figura 3. Circuito eléctrico equivalente de un diodo para la celda fotovoltaica	33
Figura 4. Punto de máxima potencia	35
Figura 5. Efectos de los niveles de radiación sobre la corriente	37
Figura 6. Efectos de la temperatura sobre la generación de energía en un panel solar	39
Figura 7. Hardware arduino mega	47
Figura 8. Arduino mega 2560 entradas y salidas	49
Figura 9. Sketch o programa de arduino	53
Figura 10. Sensor de corriente dc/ac acs712elctr-30a-t	56
Figura 11. Conexión sensor acs712	56
Figura 12. Divisor de voltaje	58
Figura 13. Sensor de voltaje alterno ac zmpt101b	60
Figura 14. Interfaz de potencia	62
Figura 15. Sistemas a bloques de la instalación de generación solar fotovoltaica	65
Figura 16. Circuito de control y carga	68
Figura 17. Instalación de generación de energía solar fotovoltaica	73
Figura 18. Sistema de control y medición	74
Figura 19. Sistema de adquisición, visualización de datos y control	75
Figura 20. Formato de las guías de laboratorio	81

## Lista de Cuadros

	<b>pág.</b>
Cuadro 1. Características de Hardware Arduino Mega	47
Cuadro 2. Funciones para programar, controlar y realizar cálculos en la placa Arduino	54
Cuadro 3. Cuadro 3. Características Sensor de Corriente ACS712ELCTR-30A-T	57
Cuadro 4. Características Sensor de Voltaje DC FZ0430	59
Cuadro 5. Características Sensor de Voltaje Alterno AC ZMPT101B	61
Cuadro 6. Especificaciones técnicas Interfaz de potencia	63
Cuadro 7. Elementos de medición y control	64
Cuadro 8. Características paneles solares	69
Cuadro 9. Características controlador	70
Cuadro 10. Características inversor	71
Cuadro 11. Características Baterías	72
Cuadro 12. Actividades de las guías	82
Cuadro 13. Presupuesto global del proyecto	83
Cuadro 14. Cotización de materiales y equipos para el proyecto	84

## Introducción

El Gobierno Nacional después de varios desastres naturales y estructurales de megaproyectos enfocados en generación de energía convencional, toma la iniciativa de dar oportunidades a las energías limpias (no convencionales) como lo son la eólica y la solar.

En línea con los objetivos de crecimiento verde del Plan Nacional de Desarrollo y la meta de garantizar energía segura, asequible y moderna, contemplada en los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), se trata de proyectos de energías renovables que entregarán este servicio a determinadas zonas de doce departamentos donde, en la mayoría de los casos, no contaban con energía en los hogares.

Después de realizar una búsqueda bibliográfica sobre el tema central del proyecto de investigación que se adelanta, se puede decir, que no se encontraron trabajos de grado, artículos de revista e informes de investigación, que hagan una referencia específica a la actividad del proyecto.

A nivel internacional se encuentran bancos de pruebas y mediciones que comercializan empresas especializadas y les ofrecen a las universidades. A nivel nacional, la Universidad Nacional entre otras, ha implementado proyectos de aplicación de energías renovables más no como laboratorios específicos de medición de variables eléctricas de las energías renovables.

Universidad Nacional de Colombia. Sistema solar fotovoltaico conectado a red de 1000 Wp también conocido con las siglas BIPV. La Universidad Nacional de Bogotá en Colombia, a partir del año 2007, inició un proyecto para la instalación de un sistema solar fotovoltaico conectado a red de 1000 Wp en uno de los edificios, el cual es categorizado como BIPVS (Edificio Integrado de Sistemas Fotovoltaicos) por estar precisamente en el techo de este edificio.

A nivel local en la Universidad Antonio Nariño se han desarrollado varios proyectos de aplicación de energías renovables, pero específicamente no como laboratorio de medición.

El servicio Nacional de Aprendizaje SENA ha implementado un laboratorio de energías renovables en su sede de Pescadero Centro Industrial, pero allí las mediciones de las variables eléctricas se realizan en forma directa con los diferentes equipos de medición de acuerdo a la variable correspondiente.



# **1. Fundamentación**

## **1.1 El Problema**

Ante el alto auge y crecimiento de la demanda en el uso de la energía solar fotovoltaica a nivel internacional, nacional y local se hace necesario formar Ingenieros, Tecnólogos que tengan la capacidad de tomar decisiones técnicas al momento de manipular este tipo de energía.

Es así como en la Universidad Antonio Nariño sede Cúcuta, se viene trabajando en esta línea de investigación hace varios años y todavía se observa un bajo índice de iteración y cultura sobre el manejo y la medición de las variables eléctricas en instalaciones de energía solar fotovoltaica por parte de los estudiantes y egresados de la Universidad Antonio Nariño sede Cúcuta.

Para la UAN sede Cúcuta es de suma importancia, contar con un laboratorio de pruebas de medición de variables eléctricas en instalaciones de energía solar fotovoltaica para contribuir en el desarrollo de la investigación sobre energías renovables.

## **1.2 Justificación**

En Norte de Santander y principalmente en la ciudad de Cúcuta, existen factores ambientales que favorecen la implementación de otras formas de energía como la solar fotovoltaica, debido a que es una de las zonas donde se recibe la mayor cantidad de radiación solar. En consecuencia, la

energía solar fotovoltaica, ofrece una solución inmediata a las necesidades primarias de electricidad para iluminación y comunicación, evitando la costosa extensión de la red eléctrica.

Es conveniente la realización del trabajo de grado, puesto que la Universidad no cuenta con un laboratorio basado en un sistema de medición de variables eléctricas para comprender mejor las nuevas tecnologías de medición y el uso de las energías renovables como la energía solar fotovoltaica.

Una vez desarrollado este trabajo de grado, se estará dando cumplimiento al requisito para la obtención del título de Ingeniero Electromecánico por parte del estudiante de la Facultad de Ingeniería Electromecánica proponente del proyecto.

### **1.3 Objeto**

Diseñar sistema de medición de variables eléctricas con tecnología Arduino para instalaciones de generación de energía solar fotovoltaica en la Universidad Antonio Nariño sede Cúcuta.

## **1.4 Objetivos**

### **1.4.1 Objetivo general**

Diseñar un sistema de medición de variables eléctricas con tecnología Arduino para instalaciones de generación de energía solar fotovoltaica en la Universidad Antonio Nariño sede Cúcuta.

### **1.4.2 Objetivos Específicos**

Definir y describir los procedimientos y aplicaciones de la tecnología Arduino para la medición de variables eléctricas.

Diseñar un sistema de medición de variables eléctricas con tecnología Arduino, en instalaciones de generación de energía solar fotovoltaica en la Universidad Antonio Nariño sede Cúcuta.

Diseñar un módulo de prácticas de laboratorio para la medición de variables eléctricas con tecnología Arduino, en instalaciones de generación de energía solar fotovoltaica en la Universidad Antonio Nariño Sede Cúcuta

## **1.5 Acotaciones**

Para el desarrollo de este trabajo integral de grado, la información de campo obtenida y las bases de datos consultadas para los elementos de sensorica, se tomaron de la página oficial de Arduino que es una compañía de desarrollo de software y hardware libres.

### **1.5.1 Alcance**

El alcance del proyecto es el diseño del sistema de medición de variables eléctricas con tecnología Arduino para instalaciones de generación de energía solar fotovoltaica en la Universidad Antonio Nariño sede Cúcuta.

Una propuesta para mejorar el desarrollo de la investigación en el campo de las energías renovables aplicadas a la industria 4.0, debido a que se están usando tecnologías de sistemas embebidos y su desarrollo se da desde la Facultad de Ingeniería Electromecánica de la Universidad Antonio Nariño UAN sede Cúcuta.

### **1.5.2 Limitaciones**

El trabajo de grado se desarrolló en la Universidad Antonio Nariño sede Cúcuta en un término de cinco meses y se limita al desarrollo de prácticas de medición aplicadas a la formación en el

programa de Ingeniería Electromecánica y Tecnología en Mantenimiento Industrial Electromecánico.

## **1.6 Legislación**

En la construcción de cualquier tipo de instalación eléctrica, incluyendo las instalaciones de energía solar renovables aplicadas en la industria, existe el Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas RETIE, donde se especifican todas las condiciones mínimas de seguridad, calidad que deben tener las instalaciones eléctricas, como distancias de seguridad, materiales a utilizar y la protección del medio ambiente.

### **1.6.1 Impacto ambiental**

La normativa ambiental se define como el conjunto de objetivos, principios, criterios y orientaciones generales para la protección del medio ambiente de una sociedad particular (Red de Desarrollo Sostenible, Colombia).

La legislación ambiental en Colombia comienza su verdadero desarrollo a partir de la Convención de Estocolmo en 1972, cuyos principios se acogieron en el Código de recursos naturales renovables y de protección al medio ambiente (Decreto Ley 2811 de 1974). Desde el punto de vista de las normas tendientes a la protección del derecho colectivo y el medio ambiente, se puede afirmar que la legislación ambiental en Colombia surge con la Constitución Política de

1991(Capítulo III “De los derechos colectivos y del Ambiente”, los cuales establecen el marco general a partir del cual toda la política ambiental Colombiana debe desarrollarse).

El gobierno de Colombia y el Programa de Naciones Unidas para el desarrollo (PNUD), han suscrito el acuerdo básico de cooperación el 29 de mayo de 1974, y bajo los términos de dicho Acuerdo han convenido la realización de un Proyecto financiado con recursos del Fondo para el Medio Ambiente Mundial (GEF) denominado “Mejoramiento de la Eficiencia Energética en Edificaciones Colombianas a través de sinergias entre Convenciones Ambientales”, cuyo organismo de ejecución es la Unidad de Planeación Minero –Energética (UPME) del Ministerio de Minas y Energías de Colombia” .

Decreto Nacional 2857 de 1981: en el cual se dictan las siguientes disposiciones: Los recursos naturales y demás elementos ambientales deben ser utilizados en forma eficiente, para lograr su máximo aprovechamiento con arreglo al interés general de la comunidad y de acuerdo con los principios y objetos que orientan este Código.

ISO 14001 VERSIÓN 2015: Norma aplicada en el manejo del plan de gestión integral de residuos sólidos.

## **1.6.2 Marco internacional**

A nivel internacional no existen; solo existen normas para los equipos que se utilizan.

IEEE C57.13.3-2006: Guía para la puesta a tierra de circuitos y cajas secundarias de transformadores de instrumentos.

NETA: Especificaciones de prueba de aceptación para equipos y sistemas de distribución de energía eléctrica.

NFPA70E: Norma de seguridad eléctrica en lugares de trabajo, impuesta por la Organización Norteamericana National Fire Protección Association.

### **1.6.3 Marco Nacional**

Norma Técnica Colombiana NTC 2050 código eléctrico colombiano.

RETIE: Reglamento técnico de instalaciones eléctricas.

Norma Técnica Colombiana NTC 4116: Seguridad industrial metodología para el análisis de tareas.

### **1.6.4 Marco institucional**

Acuerdo N° 48 de la Universidad Antonio Nariño para los proyectos de grado, “reglamento de trabajo de grado”. El Consejo Directivo de la Universidad Antonio Nariño en uso de sus Facultades legales y estatutarias y en particular las que son mencionadas en el Reglamento

Estudiantil en sus Artículos 9,10, 11, 12 y 43.

## **1.6.5 Licenciamiento de Software**

PROTEUS Licencia SENA (Convenio UAN-SENA).

ARDUINO Software libre.



## 2. Argumentación

### 2.1 Antecedentes

Se realizó un estudio bibliográfico sobre el proyecto de investigación que se adelanta, se puede decir, que no se encontraron trabajos de grado, artículos de revista e informes de investigación, que hagan una referencia específica a la actividad del proyecto. A continuación, se relacionan algunos, equipos similares al tema en estudio.

#### 2.1.1 Nivel Internacional

<b>Título:</b> Módulo fotovoltaico para entrenamiento de alumnos del centro de desarrollo de energías renovables.
<b>Universidad:</b> Universidad Tecnológica de Tulancingo Centro de investigación en materiales avanzados - energías renovables: especialidad energía fotovoltaica
<b>Autor:</b> Jorge Luis Neri Trejo, Jorge Mateo Hernández, Germán Reséndiz López
<b>Palabras claves:</b> Traslación, Rotación, Día solar, Sistema Fotovoltáico.
<b>Resumen:</b> El enfoque de sistemas aplicado a la innovación con una dirección a la planeación estratégica y prospectiva por medio de aplicar un conjunto de métodos y técnicas participativas en la planeación de solución a problemas específicos, permitió identificar la articulación de constructos que de manera ordenada proporcionaron una metodología para planear la innovación y el desarrollo de un equipo didáctico. En esta investigación se plantea un modelo sistémico para el diseño y desarrollo del “Modulo de entrenamiento de un sistema fotovoltaico (MESF) para el centro de desarrollo de energías renovables”, el modelo propuesto está integrado por cuatro sistemas. El objetivo fundamental del trabajo que se presenta consiste en diseñar y construir un sistema fotovoltaico para que los alumnos de la Carrera de Energías Renovables realicen prácticas en el centro de desarrollo de energías renovables de la Universidad Tecnológica de Tulancingo. Se muestran los resultados desde su diseño, el dimensionamiento y variables físicas como son la radiación solar y ubicación geográfica, así como la elección de los componentes del MESF hasta su instalación, puesta en funcionamiento y el monitoreo de parámetros.
También se diseñó un manual con 16 prácticas y se desarrollaron dos programas para conocer la curva característica (I-V) de una celda fotovoltaica con uso del software Matlab. Para concluir el MESF es un espacio físico para conocer el funcionamiento de los componentes de un sistema fotovoltaico a través de la realización de prácticas diseñadas y contribuir al desarrollo de competencias, investigaciones experimentos de carácter científico o técnico con la garantía que sea seguro en su operación y participe en la transferencia tecnológica.

## 2.1.2 Nivel nacional

<p><b>Título:</b> Diseño técnico y económico de un banco de prueba solar fotovoltaico para generación de energía eléctrica de forma aislada.</p>
<p><b>Universidad:</b> Universidad del Atlántico, Barranquilla, Colombia</p>
<p><b>Autor:</b> Yuranis Salas Reyes, Hismary Gómez Blanco, Marley Vanegas Chamorro, Guillermo Valencia Ochoa, Eunice Villicaña Ortíz</p>
<p><b>Palabras claves:</b> Solar fotovoltaico; Sistema aislado; Radiación solar; Diseño técnico; Análisis económico.</p>
<p><b>Resumen:</b> En este artículo se presenta el diseño técnico y económico de un banco de prueba solar fotovoltaico para suministro de energía eléctrica de forma aislada la cual fue motivada principalmente por la importancia que tiene el desarrollo de las energías renovables en la región Caribe colombiana, y la necesidad de implementar en la Universidad del Atlántico un programa integral para la evaluación y aprovechamiento del recurso renovable, en este caso el recurso solar. El proyecto se inicia con el análisis detallado de la información fundamental disponible en las diferentes bases de datos acerca de investigaciones afines, posteriormente se utilizaron datos de radiación solar de la zona de estudio para proceder a aplicar un método de dimensionado del sistema fotovoltaico aislado y por último, se realiza el análisis económico del sistema. Los resultados obtenidos muestran que para el diseño de un sistema de este tipo es primordial un análisis de disponibilidad solar en el lugar de la instalación con el fin de dimensionar adecuadamente todos sus componentes y que éste sea apto para funcionar de forma eficiente supliendo la corriente adecuada para mover las cargas tenidas en cuenta en el diseño. El análisis económico indica que se deben tener en cuenta los diferentes incentivos tributarios para que estos proyectos puedan ser viables y se pueda recuperar su inversión en el menor tiempo posible.</p>

### 2.1.3 Nivel local

<b>Título:</b> Diseño e implementación de una estación didáctica para el entrenamiento en el manejo de energía solar fotovoltaica
<b>Universidad:</b> Universidad de Santander, Campus Cúcuta Facultad de Ingeniería de Sistemas.
<b>Autor:</b> Diego Fernando Matiz Mora, Jhon Wilson Macareno Carrillo
<b>Palabras claves:</b> Estación didáctica, Energía solar fotovoltaica, Arduino, Sistemas embebidos
<p>Resumen: El presente proyecto tuvo como propósito diseñar e implementar una estación didáctica para el entrenamiento en el manejo de energía solar fotovoltaica que permitiera la adquisición de habilidades y conocimientos en el área de energías renovables, para los docentes y estudiantes del programa de ingeniería de sistemas de la Universidad de Santander UDES - sede Cúcuta. El proyecto se estructuró como una investigación aplicada, identificando la factibilidad del uso de energía solar fotovoltaica en la región, cuyo resultado evidenció que las condiciones geográficas son ideales en la ciudad de Cúcuta. Se aplicaron herramientas de análisis y diseño de desarrollo de software, para el diseño del sistema de control y medición de la estación, con nuevas tecnologías de hardware y el uso de software libre, se realizó un proceso de estudio de los componentes de hardware y software libre que serían usados para el diseño e implementación de la estación, donde se encontró que los sistemas embebidos ofrecían una buena alternativa para satisfacer los requerimientos del proyecto. Previo a la construcción de la estación se definieron planos eléctricos, sistema de toma de mediciones conectados a los componentes físicos que interactuarían con el software de monitoreo y control; también se observaría en tiempo real las variaciones en la corriente y voltaje con las que interactúan los equipos según las condiciones climáticas. Por lo tanto, se concluye que, mediante la integración del el software y hardware libre, como lo son los sistemas Java, Arduino y Raspberry, se puede generar una solución óptima y de bajo costo a sistemas de monitoreo y control de sistemas de energía solar fotovoltaica. La implementación de este proyecto prestará una ayuda tecnológica a los docentes, en el entrenamiento de los estudiantes de ingeniería de sistemas en el área de energías renovables.</p>

## **2.2 Marco Teórico**

### **2.2.1 La Energía Solar**

Es la energía que se encuentra en la radiación solar y es transformada mediante un proceso de conversión de la luz solar en energía térmica o eléctrica, para su utilización en las diferentes actividades industriales y domésticas donde se requiere para la alimentación de equipos eléctricos. El elemento primario encargado de captar la radiación solar y transformarla en energía útil es el panel solar, los cuales se encuentran de dos clases: captadores solares térmicos y módulos fotovoltaicos.

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 de la humanidad.

En la actualidad países como “España han desarrollado un alto potencial de energía solar siendo uno del más alto de toda Europa, sin embargo, países como Alemania y Austria, con menos potencial solar tienen más instalaciones en sus edificios y viviendas. (El parque instalado en Europa supera los 13 millones de m<sup>2</sup>)”.

### **2.2.2 ¿Qué es la energía solar fotovoltaica?**

La energía solar fotovoltaica consiste en la transformación directa de la radiación solar en energía eléctrica. Esto se consigue aprovechando las propiedades de los materiales

semiconductores mediante las células o celdas fotovoltaicas solares.

### **2.2.2.1 Celda solar**

La celda solar o célula fotovoltaica fue descubierta en el año 1839 por el físico francés Alexandre Edmon, que se dedicó al estudio del espectro solar y la óptica. La celda solar tiene como material base para su fabricación el silicio, que es un semiconductor que al ser dopado con otro material como el fosforo genera inestabilidad eléctrica produciendo movimiento de electrones cuando es excitado.

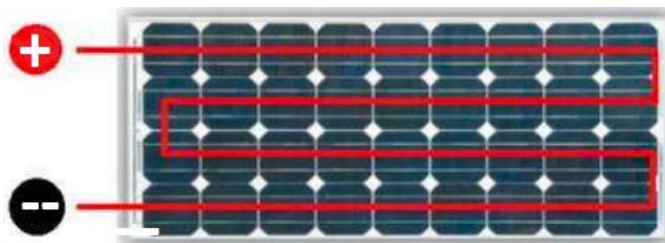
En una célula solar cuando la luz del Sol (fotones) incide en una de sus caras genera un movimiento de electrones o corriente eléctrica que se suele utilizar como fuente de energía.

La fabricación de estas células resulta un proceso realmente costoso, tanto económicamente como en tiempo. Aunque el material con el que están fabricadas (Silicio) es muy abundante en la Tierra, su procesamiento es laborioso y complicado. Se requieren procesos especiales para elaborar los lingotes de silicio, de los cuales se cortarán posteriormente las obleas o celdas (células), motivo por el cual resulta todavía un producto de costo elevado. El silicio reciclado a partir de la industria electrónica también sirve como materia prima para producir el silicio de grado solar. En la actualidad se están preparando otros materiales de mayor rendimiento.

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. La conexión de las células en el panel se realiza en serie como se puede observar en la figura 1.

Figura 1. Celdas solares fotovoltaicas en conexión serie.

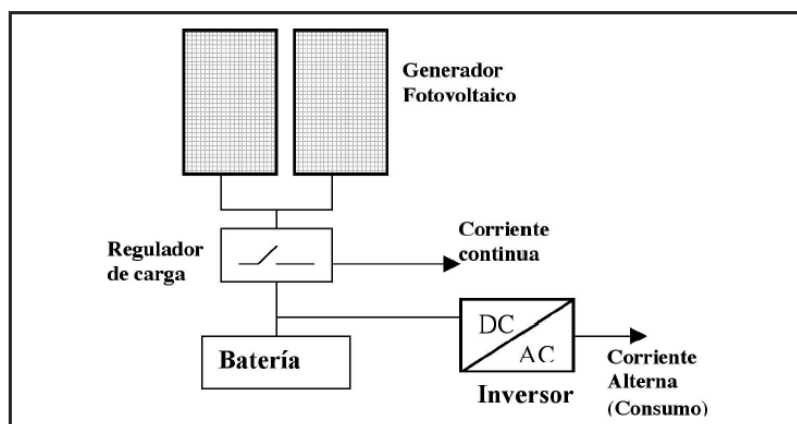


Fuente: <https://atersa.shop/como-orientar-paneles-solares/>.

### 2.2.3 Sistemas de una instalación fotovoltaica

La configuración básica de las instalaciones aisladas de la red eléctrica está compuesta por el generador fotovoltaico, un regulador de carga y una batería. (Véase la Figura 2).

Figura 2. Esquemas básicos de instalaciones fotovoltaicas



Fuente: Autor del proyecto.

### **2.2.3.1 Generador fotovoltaico**

El elemento fotovoltaico es el encargado de transformar la energía solar en energía eléctrica, específicamente este proceso se trata de tomar la luz proveniente del sol en forma de radiación o partículas llamadas fotones y convertirlas en energía eléctrica y se conoce como efecto de conversión fotovoltaica; esto ocurre porque el silicio, que está en la célula fotovoltaica tiene esa propiedad que fue explicada por Albert Einstein en la teoría del efecto fotoeléctrico.

### **2.2.3.2 Batería**

La batería es el elemento encargado de acumular la energía entregada por los paneles durante las horas de mayor radiación para su aprovechamiento durante las horas de baja o nula insolación.

### **2.2.3.3 Regulador**

El regulador de carga controla la carga de la batería, evitando que se produzcan sobrecargas o descargas excesivas que disminuyen su vida útil. Con esta configuración el consumo se produce en corriente continua.

### **2.2.3.4 Inversor**

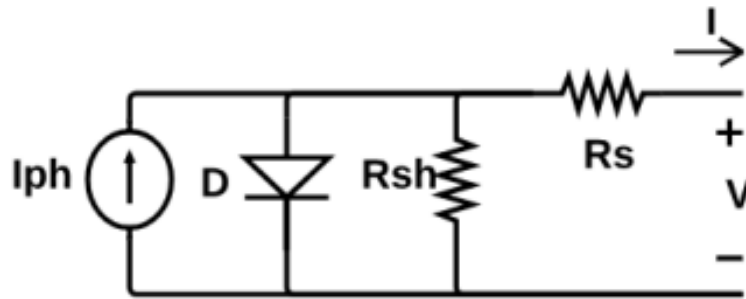
El inversor es el elemento que transforma la energía eléctrica (corriente continua) producida por los paneles y la almacenada en las baterías en corriente alterna de las mismas características que la de la red eléctrica. Existen diferentes tipos de inversores, pero se seleccionan en función del tamaño de la instalación a realizar.

### **2.2.4 Factores de eficiencia de un panel fotovoltaico**

El panel solar es el elemento encargado de tomar la radiación solar y convertirla en energía eléctrica. Para entender su funcionamiento, se puede abordar un modelo matemático que describa la respuesta eléctrica del panel solar frente a dos condiciones, la temperatura en la superficie del panel (en °C) y la irradiación solar incidente (en W/m<sup>2</sup>). La representación del modelo matemático se puede hacer de dos formas, usando el modelo de un diodo o el modelo de dos diodos; de los cuales, el primero es más usado en las investigaciones, debido a que reduce la complejidad de ecuaciones matemáticas mientras mantiene una descripción aceptable. Por tanto, dicho modelo se escoge para esta investigación debido a que tiene cualidades suficientes para perseguir el objetivo general. El esquema eléctrico de la celda solar se muestra en la Fig. 3 y la conexión de varias de estas celdas conforman un panel solar de mayor potencia.



Figura 3. Circuito eléctrico equivalente de un diodo para la celda fotovoltaica



Fuente: Autor del proyecto.

El valor de la corriente de salida  $I$  y el voltaje de salida  $V$  del panel, se establece mediante la relación:

$$I = I_{ph} - \left[ \exp\left(\frac{V+IR_S}{N_S V_t}\right) - 1 \right] - \frac{V+IR_S}{R_{SH}}$$

Dónde:

$I$  es la corriente de salida del módulo fotovoltaico.

$I_{ph}$  es la corriente producida por la irradiación.

$I_o$  es la corriente de saturación inversa del diodo.

$V$  es el voltaje en el módulo.

$R_s$  es la resistencia en serie.

$N_s$  es el número de celdas fotovoltaicas en serie por modulo.

$R_{sh}$  es la resistencia en paralelo.

$V_t$  es el voltaje térmico en la unión, el cual está dado por:

$$V_t = (kAT/q)N_s$$

Dónde:

$k$  la constante Boltzmann ( $1.38 \times 10^{-23} \text{J/K}$ ).

$q$  es la carga del electrón ( $1.6 \times 10^{-19} \text{C}$ ).

$A$  es la constante de idealidad del diodo.

El módulo tiene dependencia a la temperatura  $T$ ; por lo tanto, las corrientes  $I_{ph}$  e  $I_0$  se calculan como:

$$I_{ph} = G [I_{ph,STD} + k, \Delta T]$$

$$I_0 = I_{0,STD} \left[ \frac{T}{T_{STC}} \right]^3 \exp \left( \frac{qE_g}{Ak} \left( \frac{1}{T_{STC}} - \frac{1}{T} \right) \right)$$

En las Ecuaciones anteriores:

$G$  es la relación de irradiación con aquella en condiciones estándar (STD) de  $1 \text{kW/m}^2$ .

$I_{ph, STD}$  es la corriente por irradiación en STD.

$k_i$  es el coeficiente de temperatura para la corriente.

$I_0, STD$  es la corriente de saturación inversa del diodo en STD.

$T_{STC}$  es la temperatura en STD igual a  $298^\circ \text{K}$ .

$E_g$  es la energía de banda.

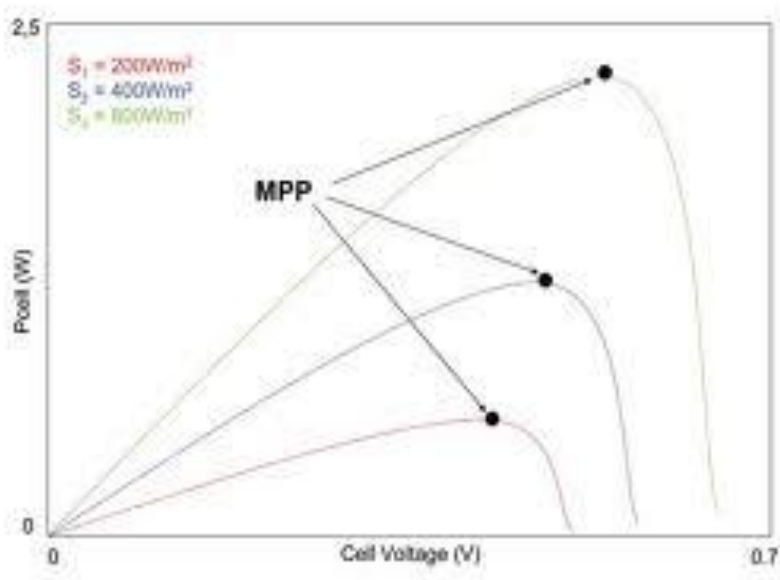
### 2.2.4.1 Punto de máxima potencia

Corresponde a la máxima capacidad de potencial que puede entregar un panel fotovoltaico, lo cual sucede cuando se da la máxima capacidad de voltaje y de corriente al mismo tiempo. Una placa o célula fotosensible puede operar mientras este en un amplio rango de voltajes y de

corriente.

El punto de potencia máxima para un dispositivo fotovoltaico varía según la incidencia del sol. Para instalaciones bastante grandes en muchas ocasiones esto genera un incremento en cuanto a los costos por la necesidad de incluir dispositivos que midan la potencia instantánea por medida continua del voltaje y la intensidad de corriente, al usar esta información para calibrar de manera dinámica y en tiempo actual, la carga que es transferida a la máxima potencia posible, sin importar las variaciones de la radiación que se genera por el sol durante el transcurso del día.

Figura 4. Punto de Máxima Potencia



Fuente: Centro de Ahorro y Eficiencia Energética de Madrid. Disponible en:

<http://www.madrid.org/caeem>.

## **2.2.4.2 Eficiencia en la conversión de energía**

La eficiencia para los paneles fotovoltaicos está determinada por el porcentaje de energía eléctrica generada en relación con la cantidad de energía recibida por la radiación del sol cuando el panel se encuentra conectado a un circuito eléctrico industrial o residencial.

## **2.2.5 Factores que afectan el rendimiento de un panel fotovoltaico**

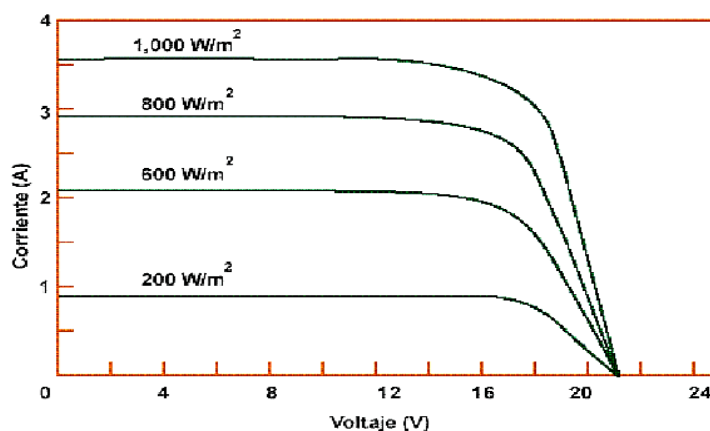
Se encuentran diferentes factores que afectan al panel en cuanto a su rendimiento en la capacidad de su máxima generación de energía, a continuación, está la descripción de cada uno de ellos.

### **2.2.5.1 Energía de la luz incidente**

Para generar el movimiento necesario de electrones y generar flujo de corriente suficiente, es necesario que la cantidad de radiación solar que incide sobre la estructura del panel posea una cantidad de energía cumpliendo ciertos límites. Primer cuando la luz incidente cuenta con distintas longitudes de onda, aproximadamente el 50% de la radiación recibida, está no entra en el margen aceptado por los paneles solares que se venden comercialmente y este se pierde, ya sea por muy poca o demasiada energía. Otro motivo es cuando la corriente es directamente proporcional a la radiación incidente y esta es aceptada por los paneles, por lo que debido a un

bajo nivel de energía radiante provocará que la corriente generada también sea baja, la Figura 5 muestra las curvas para distintos niveles de radiación

Figura 5. Efectos de los niveles de radiación sobre la corriente



Fuente: Centro de Ahorro y Eficiencia Energética de Madrid: <http://www.madrid.org/caeem>

## 2.2.5.2 Reflexión

Estas pérdidas son producidas cuando en la superficie del panel la reflexión de los rayos incidentes. Para disminuir este efecto el cual está generando pérdidas durante el proceso de fabricación se están implementando unas capas antirreflejo y superficies rugosas.

## 2.2.5.3 Efecto de la Sombra

El efecto se genera cuando pasan sombras sobre los paneles solares tapando la radiación

incidente, esto afecta notoriamente el rendimiento; se debe tener en cuenta al momento de realizar el diseño de una instalación fotovoltaica, se deben situar los paneles en lugares estratégicos donde no sufran este tipo de interferencias.

Cuando los paneles se encuentran conectado en serie este efecto es más notorio, ya que si un panel es sombreado este no generará los mismos niveles de energía comparado a los demás que si se encuentran descubiertos, esto provocara que se eleve el consumo de energía, en lugar de generarla.

#### **2.2.5.4 Efecto de la orientación e inclinación**

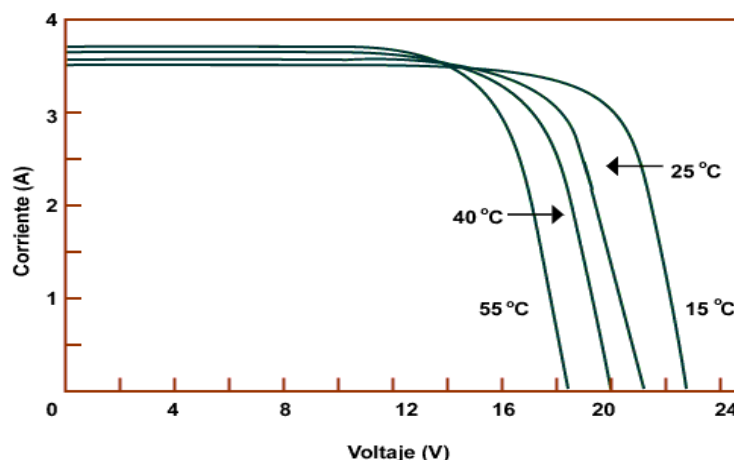
Los paneles solares presentan su máxima capacidad de trabajo cuando la orientación este directa en dirección al sol, es decir, que el panel este perpendicularmente hacia el sol. En las instalaciones fijas es imposible mantener este direccionamiento en el panel, debido a esto el sistema se debe diseñar de tal forma que en su instalación se pueda aprovechar la mayor cantidad de luz posible generada por el sol durante los períodos de mayor radiación. Cuando las instalaciones cuentan con un sistema para realizar seguimiento este no tiene mayor importancia debido a que el tiende a mantenerse en dirección al sol.

#### **2.2.5.5 Efectos de la Temperatura**

La temperatura es un parámetro que afecta directamente el rendimiento del panel fotovoltaico. Cuando sucede un aumento de temperatura la corriente por lo general aumenta,

pero el voltaje no se mantiene notoriamente esto provoca una disminución de la potencia que puede entregar el panel, en lugar si la temperatura disminuye el voltaje tiende a ir en aumento, pero la corriente se reduce, esto genera un aumento por una fracción en cuanto al el nivel de la potencia entregada por el panel. Se estima que la potencia nominal se reduce un 0.5% por cada grado por sobre los 25 °C. Esto se puede ver en la Figura 6.

Figura 6. Efectos de la temperatura sobre la generación de energía en un panel solar



Fuente: Centro de Ahorro y Eficiencia Energética de Madrid: <http://www.madrid.org/caeem>

## 2.2.5.6 Suciedad y polvo

Polvo y suciedad se acumula en la superficie del módulo solar, esto genera el bloqueo de la luz solar. Cuando ahí diez en los que llueva esto ayudara a limpiar más o menos. Un factor estipulado es una reducción del 93 % 0 0,93 % . , para entender este proceso tenemos un módulo de 100 w el cual está en operación a la intemperie con una cantidad suficiente de polvo acumulado esto solo permitiría trabajar el panel aproximadamente a 79 w.

### **2.2.5.7 Pérdidas por acoplamiento y cableado**

La máxima capacidad de energía la cual esta suministrada por uno o más paneles fotovoltaicos siempre la suma a la salida máxima de los módulos independientes. Esta diferencia es un resultado de pequeñas inconsistencias en cuanto al rendimiento de un módulo, el siguiente es llamado desacoplamiento y se origina cuando hay una pérdida de energía del 2%. También se generan unas pérdidas por la resistencia en el cableado eléctrico del sistema. Estas pérdidas deben mantenerse al mínimo mediante aplicación de procedimientos adecuados, pero es difícil conseguir que bajen del 3%.

### **2.2.5.8 Pérdidas de conversión DC a AC.**

La conversión de energía DC/AC o AC/DC sin importar el caso siempre genera pérdidas. Ya algunos de los fabricantes hablan de eficiencias pico aproximadas del 92-94 %, pero en inversores nuevos medidos que se encuentran en condiciones controladas es común encontrar el 88 %, aunque con el tiempo de uso y las características independientes de cada tipo de inversor pueden generar conversiones con una eficiencia del 80 %. La aproximación que suele utilizarse en los cálculos es del 90 % o 0,90.



## **3. Metodología**

### **3.1 Tipo de Investigación**

La realización de este trabajo integral de grado está fundamentada en la investigación aplicada con el análisis de la información consultada y recopilada en referencia a las especificaciones técnicas de los equipos y materiales necesarios para el montaje y puesta en marcha del sistema de medición de variables eléctricas con tecnología Arduino para instalaciones de generación de energía solar fotovoltaica en la Universidad Antonio Nariño sede Cúcuta.

Se realizó un análisis técnico de las características de cada uno de los componentes eléctricos especializados en energía solar fotovoltaica y de control electrónico que se aplicaron en el montaje, lo cual representa una forma de aplicación de la ingeniería electromecánica en la solución de la problemática planteada.

Por medio de la investigación realizada desde el análisis técnico del montaje planteado a través del diseño y la información obtenida de manuales técnicos de los equipos utilizados, se logra aplicar los conocimientos adquiridos durante la carrera en las áreas de circuitos eléctricos, electrónica analógica, electrónica digital, sistemas automáticos de control, instrumentación industrial, teoría de control, incursionado en la línea de energías renovables específicamente en el área de medición y transmisión de datos utilizando sistemas embebidos y la aplicación de nuevas tecnologías de software.

## **3.2 Marco Estratégico Táctico**

La realización del proyecto se centra en el análisis y aplicación de los datos técnicos recopilados en la investigación de campo. Esta forma de investigación técnica nos permite aprender sobre los diferentes parámetros, procesos y tecnologías que se utilizan en los protocolos de adquisición y transmisión de datos centrándose en las técnicas de medición y control de las variables eléctricas que interactúan en un sistema de energía solar fotovoltaica logrando una producción eficiente, eficaz de energía amigable con el medio ambiente.

## **3.3 Plan de Trabajo**

Para la ejecución del trabajo integral de grado, se utilizó una metodología de desarrollo que conlleva a la realización de los objetivos anteriormente expuestos y fundamentados en el marco conceptual, recolectando y analizando la información por medio de las actividades propuestas en cada una de las siguientes etapas

### **3.3.1 Etapa 1**

Definir los procedimientos y aplicaciones de la tecnología Arduino para la medición de variables eléctricas.

Para alcanzar este objetivo se llevaron a cabo las siguientes actividades:

Realizar un estudio de la tecnología arduino y sus aplicaciones en la medición de variable eléctricas.

Determinar el hardware y el software a utilizar para el proceso de toma de datos.

Estudiar los sensores que se van a usar para la adquisición de datos de las variables eléctricas a medir.

### **3.3.2 Etapa 2**

Diseñar un sistema de medición de variables eléctricas con tecnología Arduino, en instalaciones de generación de energía solar fotovoltaica la Universidad Antonio Nariño sede Cúcuta.

Para alcanzar este objetivo se llevaron a cabo las siguientes actividades:

Proyectar el diseño del sistema de medición de variables eléctricas en instalaciones de energía solar fotovoltaica.

Realizar cálculos para el diseño del sistema de medición de variables eléctricas en

instalaciones de energía solar fotovoltaica.

Plantear el programa para la medición de las variables eléctricas y su visualización

### **3.3.3 Etapa 3**

Diseñar un módulo de prácticas de laboratorio para la medición de variables eléctricas con tecnología Arduino, en instalaciones de generación de energía solar fotovoltaica en la Universidad Antonio Nariño Sede Cúcuta.

Para alcanzar este objetivo se llevaron a cabo las siguientes actividades:

Plantear las prácticas de laboratorio para la medición de las variables eléctricas en la instalación de energía solar fotovoltaica.

Validar las prácticas de medición mediante un simulador digital.

## **4. Desarrollo del Proyecto**

### **4.1 Etapa 1**

Definir y describir los procedimientos y aplicaciones de la tecnología Arduino para la medición de variables eléctricas.

Para alcanzar este objetivo se llevaron a cabo las siguientes actividades:

Realizar un estudio de la tecnología arduino y sus aplicaciones en la medición de variable eléctricas.

Determinar el hardware y el software a utilizar para el proceso de toma de datos.

Estudiar los sensores que se van a usar para la adquisición de datos de las variables eléctricas a medir.

#### **4.1.1 Tecnología Arduino**

Este tipo de tecnología soporta una integración de Hardware y Software basado únicamente en la programación de un microcontrolador que es una tarea muy específica de la ingeniería electrónica, los desarrolladores de la tecnología arduino se proyectaron proporcionar un entorno

de muy fácil acceso en cuanto a su programación; lo cual consiste en llevar a líneas de código las tareas a automatizar durante un proceso mediante la lectura de datos que son entregados por sensores en tiempo real y en función de las condiciones del entorno programado con la iteración al mundo exterior por medir de diferentes tipos de actuadores.

El software Arduino IDE ofrece un sistema de gestión de librerías y placas muy práctico. Siendo un software sencillo sin funciones avanzadas comparados a otros IDEs.

### 4.1.1.1 Estudio Hardware Arduino

El Arduino Mega 2560 es una tarjeta de desarrollo fundamentada en el microcontrolador ATmega2560.

Está formado por:

<p>54 entradas/salidas digitales; de las cuales 15 se pueden usar como salidas PWM.</p> <p>16 entradas analógicas.</p> <p>4 UARTs.</p> <p>Un cristal de 16Mhz, conexión USB.</p> <p>Jack para fuente DC.</p> <p>Conector ICSP.</p> <p>Botón de reseteo.</p>
---

La

placa Mega 2560 es compatible con la mayoría de shields compatibles para Arduino UNO.

Figura 7. Hardware ARDUINO MEGA.



Fuente: <http://www.arduino.cl/int/caracteristicas.html>

Cuadro 1. Características de Hardware Arduino Mega

Característica	<u>ATmega 2560</u>
Voltaje de funcionamiento	5V
Voltaje de entrada (recomendado)	7-12V
Voltaje de entrada (limite)	6-20V
Pines E/S digitales	54 (14 proporcionan salida PWM)
Pines de entrada analógica	16
Intensidad por pin	40 mA
Intensidad en pin 3.3V	50 mA
Memoria Flash	128 KB de las cuales 4 KB las usa el gestor de arranque( <u>bootloader</u> )
SRAM	8 KB
EEPROM	4 KB
Velocidad de reloj	16 MHz

Fuente: <https://store.arduino.cc/usa/mega-2560-r3>

Alimentación: El Arduino Mega tiene dos métodos de conexión para el voltaje de alimentación:

Fuente de voltaje mediante conexión USB.

Alimentación con una fuente externa de 6 a 20 voltios Directamente a los pines de Vcc y GND.

Memoria: El ATmega2560 posee 128KB de memoria flash donde se puede almacenar el código donde:

4KB son usados para el inicio del sistema (bootloader).

8 KB de memoria SRAM.

4KB de EEPROM, la cual permite leer o escribir con la librería EEPROM.

Entradas y Salidas. Los 54 pines digitales pueden usarse como entradas o salidas teniendo en cuenta su implementación en las sentencias:

`pinMode ()`.

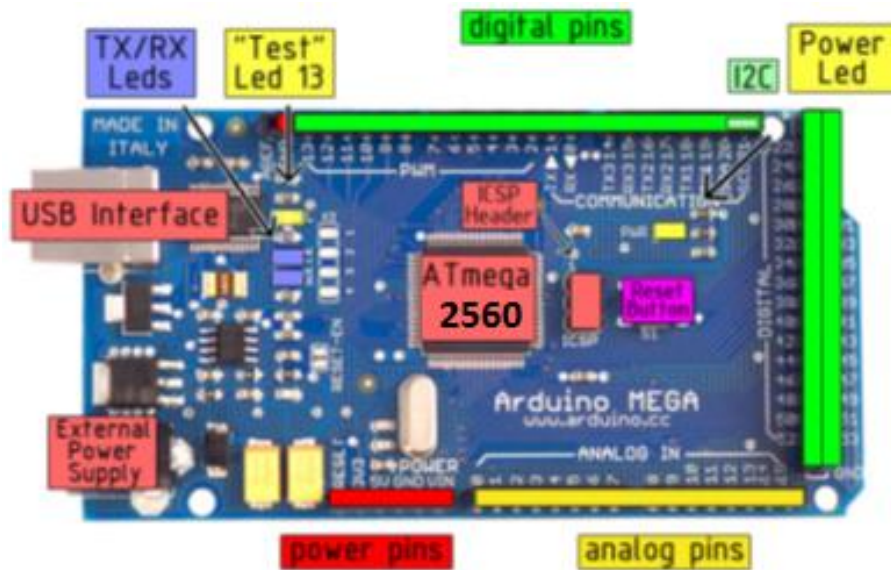
`digitalWrite ()`.

`digitalRead ()`.

Las E/S trabajan a 5 voltios. Cada pin puede entregar o recibir una corriente máxima de 40mA y poseen una resistencia interna (desconectada por defecto) de 20-50 kOhms. Otros pines tienen funciones especializadas:



Figura 8. Arduino MEGA 2560 Entradas y Salidas



Fuente: <http://www.arduino.cl/int/caracteristicas.html>

Los pines están distribuidos así:

Serie: 0 (RX) y 1 (TX).

Serie 1: 19 (RX) y 18 (TX).

Serie 2: 17 (RX) y 16 (TX).

Serie 3: 15 (RX) y 14 (TX). Utilizado para recibir (RX) enviar (TX) datos mediante el puerto serie TTL.

Interrupciones externas. Los pines de las interrupciones están distribuidos así:

2 (interrupción 0).

3 (interrupción 1).

18 (interrupción 5).

19 (interrupción 4).

20 (interrupción 3).

21 (interrupción 2).

Estos pines pueden ser modificados para instrucciones de una interrupción con un valor LOW (0V), en flancos de subida o bajada, el valor de estos cambios es de 0V a 5V o viceversa.

PWM: De 0 a 13. Proporciona una salida PWM (Pulse Wave Modulación, modulación de onda por pulsos) de 8 bits con una resolución de valores de 0 hasta 255 por medio de la ejecución del comando `analogWrite`.

LED: La tarjeta trae incorporado un LED que está conectado al pin digital 13, cuando el pin 13 alcanza un valor HIGH (5V) el LED se enciende y cuando el valor es LOW (0V) este se apaga.

Entradas analógicas. El Arduino Mega tiene 16 entradas analógicas, cada una con resolución de 10bits (1024 valores) y se miden de GND a 5 voltios en paralelo, pueden cambiar la cota superior de este rango utilizando el pin AREF y la función `analogReference`.

Funciones especializadas:

I2C: Apoyo del protocolo de comunicaciones I2C (TWI) utilizando la librería Wire. Se conecta en los pines 20 (SDA) y 21 (SCL). El software de Arduino incluye una librería Wire para simplificar el uso del bus I2C.

AREF: Voltaje de referencia para las entradas analógicas. Usado por analog Reference.

Reset. Suministra un valor LOW (0V) para reiniciar el microcontrolador. Normalmente utilizado para incluir un botón de reset a los shields que no disponen de acceso a este botón en la placa.

Comunicaciones: EL Arduino Mega reduce la complejidad de la comunicación con el equipo de cómputo en gran medida, diferentes Arduinos o microcontroladores. El ATmega1280 brinda un seriado de pines de comunicación exactamente 4 mediante serie UART TTL (5V). Un chip FTDI FT232RL incorporado en la tarjeta, la cual redirige esta comunicación en serie a través del USB y los controladores FTDI (incorporados en el software de Arduino) brinda un puerto serie virtual en el sistema de cómputo.

El software proporciona un control de puerto serie que posibilita el poder enviar y copiar datos textuales de la placa Arduino. Los LEDs RX y TX de la placa enciende un led intermitente cuando se detecta una comunicación transmitida través del chip FTDI y la conexión USB (la luz no titila si se utiliza la conexión serie mediante los pines 0 y 1).

La librería Software Serial posibilita la conexión en serie por los diferentes pares de pines digitales del Arduino Mega.

**Protección contra sobretensiones en USB:** El Arduino Mega 2560 entrega un sistema de seguridad a la conexión USB del equipo de cómputo al cual se conecta. Esta protección se realiza por medio de un multifusible reinicializable y que protege de posibles cortocircuitos y sobretensiones el puerto USB. El fusible genera una protección para corrientes superiores a 500mA que son medidos en el puerto USB, este funciona automáticamente cortando la conexión hasta que el cortocircuito o la sobretensión se recupere.

### 4.1.1.2 Programación

El Arduino Mega2560 se puede iniciar su programación con el software Arduino. IDE (Integrated Development Environment). Este sistema puede ser utilizado para escribir código de programación que controle el hardware.

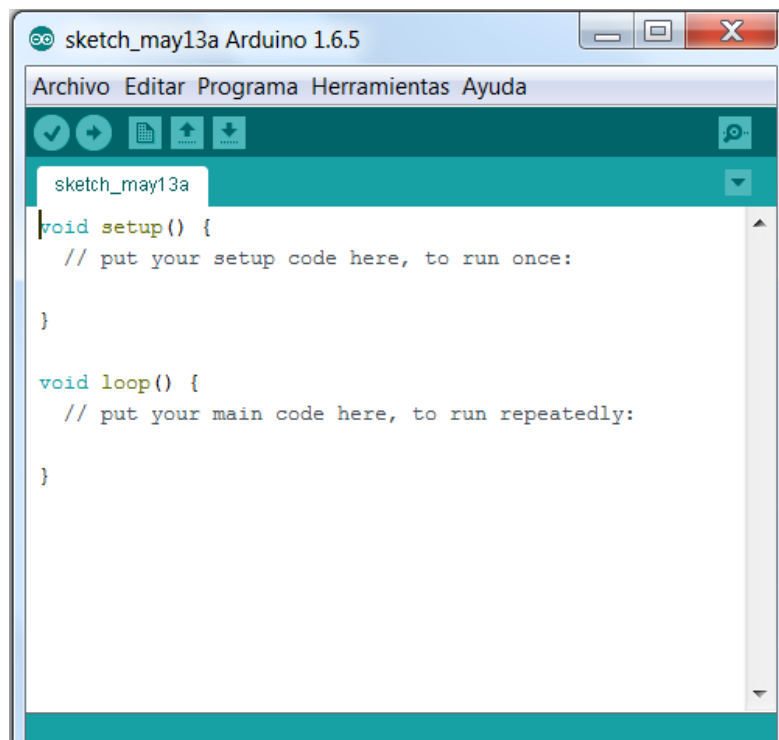
**Estructura de un Sketch.** El programa de Arduino se denomina sketch o proyecto y tiene la extensión .ino. Como nota relevante para que funcione el sketch, el nombre del fichero debe estar en un directorio con el mismo nombre que el sketch. No es necesario que un sketch esté en un único fichero, pero si es imprescindible que todos los ficheros estén dentro del mismo directorio que el fichero principal.

En el siguiente ejemplo de líneas de código se tiene La estructura básica de un sketch o

programa de Arduino el cual es muy simple y se compone de dos partes. Estas dos partes son obligatorias y encierran bloques que contienen declaraciones, estamentos o instrucciones.

Void setup() y el void Loop(), donde la función Setup solo se ejecutará una vez, después de cada encendido o reinicio del sistema Arduino.

Figura 9. Sketch o programa de Arduino



```
sketch_may13a
void setup() {
  // put your setup code here, to run once:
}

void loop() {
  // put your main code here, to run repeatedly:
}
```

Fuente Autor.

Referencia del lenguaje de programación. El lenguaje de programación Arduino se puede dividir en tres partes principales:

Funciones.

Valores (variables y constantes).

Estructura.

Cuadro 2. Funciones para programar, controlar y realizar cálculos en la placa Arduino

REFERENCIA				
FUNCIÓN	E / S digital	E / S analógicas	Familia Zero, Due y MKR	HORA
		digitalRead () digitalWrite () pinMode ()	analogRead () analogReference () analogWrite ()	analogReadResolution () analogWriteResolution ()
FUNCIÓN	E / S avanzada	Hora	Trigonometría	
	noTone () pulseIn () pulseInLong () shiftIn () shiftOut () tone ()	abs () restrict () map () max () min () pow () sq () sqrt ()	cos () sin () tan ()	
VARIABLES	Constantes	Conversión		
	ALTA   BAJA ENTRADA   SALIDA   INPUT_PULLUP LED_BUILTIN verdadero	(unsigned int) (unsigned long) byte () char () float () int () long () word ()		
ESTRUCTURA	Bosquejo	Estructura de control	Operadores aritméticos	Sintaxis adicional
	bucle () configuración ()	break continue do ... while else for goto if return switch ... case while	% (resto) * (multiplicación) + (suma) - (resta) / (división) = (operador de asignación)	#define (define) #include (include) /* */ (comentario de bloque) // (comentario de una sola línea) : (punto y coma) { } (llaves)

Fuente: <https://www.arduino.cc/reference/en/>

## 4.1.2 Estudio de los Sensores de corriente y voltaje

Se estudiaron los sensores de voltaje y corriente compatibles con la familia arduino.

ACS712 Mide corriente DC y AC.

FZ0430 Mide Voltaje DC

ZMPT101B Mide Voltaje AC

En el estudio se tomó en cuenta las características de cada uno de los sensores seleccionados en la etapa de diseño.

### 4.1.2.1 Sensor de Corriente

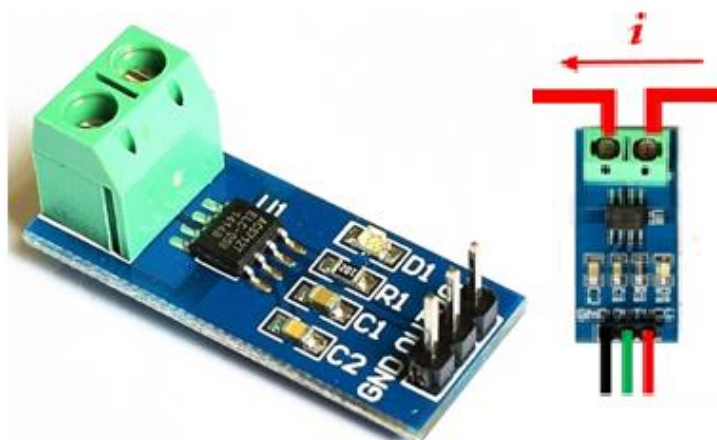
El Sensor de Corriente ACS712ELCTR-30A-T tiene la capacidad de medir corriente DC o AC utilizando un sensor de efecto Hall que se encuentra internamente y detecta el campo magnético que se produce por inducción de la corriente que circula por la línea que se está midiendo. EL sensor entrega una salida de voltaje proporcional a la corriente, dependiendo del sensor que se esté usando, se encuentran en el mercado los siguientes valores comerciales:

ACS712-05 Para rangos de 5 Amperios.

ACS712-20 Para rangos de 20 Amperios

ACS712-30 Para rangos de 30 Amperios

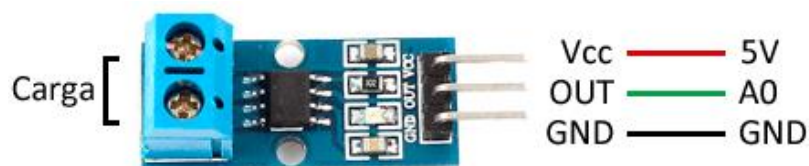
Figura 10. Sensor de Corriente DC/AC ACS712ELCTR-30A-T



Fuente: <https://naylampmechatronics.com/sensores-corriente-voltaje/443-sensor-de-corriente-dc-ac-100a-acs-30a712.html>.

El ACS712 comercialmente se encuentra en módulos, que facilitan su conexión, traen una bornera para conectar la línea que se quiere medir y 3 pines, dos para conectar la alimentación y un pin para la salida analógica. Como se observa en la figura 11.

Figura 11. Conexión sensor ACS712



Fuente: <https://www.luisllamas.es/arduino-intensidad-consumo-electrico-acs712/>



Cuadro 3. Características Sensor de Corriente ACS712ELCTR-30A-T

<b>Voltaje de salida proporcional a la corriente AC y DC</b>	
<b>Voltaje de alimentación</b>	5 VDC
<b>Rango de censado de corriente</b>	+/-100 <sup>a</sup> (DC), 30 <u>rms</u> (AC)
<b>Rango de salida analógica</b>	0.3V a 4.7V (proporcional a la corriente a medir)
<b>Sensibilidad</b>	66mV/A
<b>Voltaje de aislamiento</b>	4000V
<b>Ancho de banda</b>	23Khz
<b>Temperatura de funcionamiento</b>	-20°C ~ 125°C
<b>Dimensiones</b>	36*31*24 mm
<b>Peso</b>	12.4 gramos

Fuente: Autor

**Relación de sensibilidad.** El sensor ACS712 entrega un valor de 2.5 voltios para una corriente de 0A y a partir de allí incrementa proporcionalmente el voltaje de acuerdo a la sensibilidad, teniendo una relación lineal entre la salida de voltaje del sensor y la corriente a medir.

Dicha relación es una línea recta en una gráfica Voltaje vs Corriente donde la pendiente es la sensibilidad y la intersección en el eje Y es 2.5 voltios. La ecuación de la recta sería la siguiente.

$$V = m * I + 2.5$$

Donde la pendiente es  $m$  y equivale a la Sensibilidad.

Despejando  $I$  se obtiene la ecuación para hallar la corriente de acuerdo a la lectura del sensor.

$$I = \frac{V - 2.5}{\text{Sensibilidad}}$$

Esta fórmula se utiliza para el diseño del programa de medición.

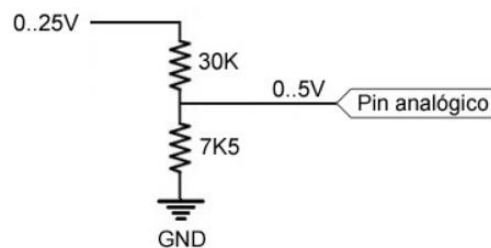
### 4.1.2.2 Sensor de voltaje DC FZ0430

El sensor de voltaje FZ0430 es un circuito divisor de voltaje con resistencias de 30K y 7K5, lo que supone que la tensión percibida por el módulo sea dividida por un factor de 5 ( $7.5/(30+7.5)$ ).

Divisor de voltaje 
$$V_{out} = \frac{5 \cdot 7.5}{30 + 7.5}$$

De acuerdo al circuito de la figura 12.

Figura 12. Divisor de voltaje



Fuente: Autor

Cuadro 4. Características Sensor de Voltaje DC FZ0430

<b>Sensor FZ0430 Voltaje DC</b>	
Rango de entrada de voltaje	0v a 25v DC.
Voltaje detección entrada máximo.	25v ( $5v \times 5 = 25v$ ) o 16,5v ( $3,3v \times 5 = 16,5v$ ).
Rango de detección de voltaje	24,41mV – 25v.
Resolución analógica de tensión	0,00489v DC.
Voltaje detección entrada mínimo	24,45mV ( $4,89mV \times 5 = 24,45mV$ ).

Fuente: Autor

El valor máximo de voltaje que se puede medir con este sensor es de 25v que se dividen en un circuito divisor de voltaje para obtener el valor de voltaje que soporta un procesador de 5v (Vcc) y de 16,5v pasando por el divisor de voltaje para obtener el voltaje que soporta un procesador de 3,3v (Vcc). Superar este voltaje máximo en la entrada del FZ0430 dañará el circuito analógico del Arduino. La resolución de la medición del módulo es de 24,45mV.

### **4.1.2.3 Módulo Sensor de Voltaje Alterno AC**

#### **ZMPT101B**

Se refleja en la figura 13,

Figura 13. Sensor de Voltaje Alternio AC ZMPT101B



Fuente: [https://cdn.shopify.com/s/files/1/2267/1961/products/ModuloSensordeVoltajeAlternioACZMPT101BmonofasicoparaArduino\\_Ferretronica\\_480x480.jpg?v=1592911110](https://cdn.shopify.com/s/files/1/2267/1961/products/ModuloSensordeVoltajeAlternioACZMPT101BmonofasicoparaArduino_Ferretronica_480x480.jpg?v=1592911110)

El módulo de medición está conformado por un transformador de voltaje y un circuito de compensación de offset de la salida analógica basado en amplificador operacional; el módulo ZMPT101B permite medir voltaje alterno de 120 VAC ~ 220 VAC, este voltaje de corriente alterna no puede ser medido en forma directa por el microcontrolador o Arduino porque supera el rango de entrada de 0V a 5V. El módulo ZMPT101B presenta una solución al problema reduciendo el voltaje de corriente alterna a la entrada con el transformador, llevándolo a un voltaje menor que este dentro de los rangos para ser leído por el Arduino o cualquier otro tipo de microcontrolador.

El transformador también está diseñado para cumplir la función de aislamiento galvánico y así obtener mayor seguridad eléctrica. El bobinado primario del transformador es conectado al voltaje alterno que se va a medir, reduciéndolo en el secundario a niveles de trabajo para el Arduino; en el bobinado secundario del transformador se encuentra un circuito divisor de voltaje y un circuito con amplificador operacional LM358 para realizar un desplazamiento (offset) a la

salida análoga.

El sensor puede soportar voltajes de entrada de hasta 250VAC y entrega una onda senoidal que puede regularse en amplitud por un potenciómetro en placa, la onda senoidal de salida está desfasada positivamente para que no presente voltajes negativos.

El circuito de acondicionamiento de señal permite que el voltaje de salida del módulo pueda ser leído por cualquier microcontrolador con entrada análoga a digital (ADC), de esta forma es posible leer el voltaje instantáneo y realizar cálculos de energía como voltaje pico a pico y voltaje rms.

Cuadro 5. Características Sensor de Voltaje Alterno AC ZMPT101B

<b>Voltaje de alimentación</b>	3.3V ~ 5V DC
<b>Señal de salida</b>	Análoga Senoidal 5VAC MAX
<b>Propiedades del transformador</b>	
<b>Corriente nominal de entrada y salida</b>	2mA
<b>Voltaje máximo de medición</b>	250VAC
<b>Ratio en entrada salida 1000:</b>	1000
<b>Diferencia de fase</b>	< 30° (50 Ω)
<b>Rango lineal</b>	0 ~ 3mA (50 Ω)
<b>Linealidad</b>	1%
<b>Precisión</b>	0.2
<b>Aislamiento eléctrico</b>	hasta 3000V

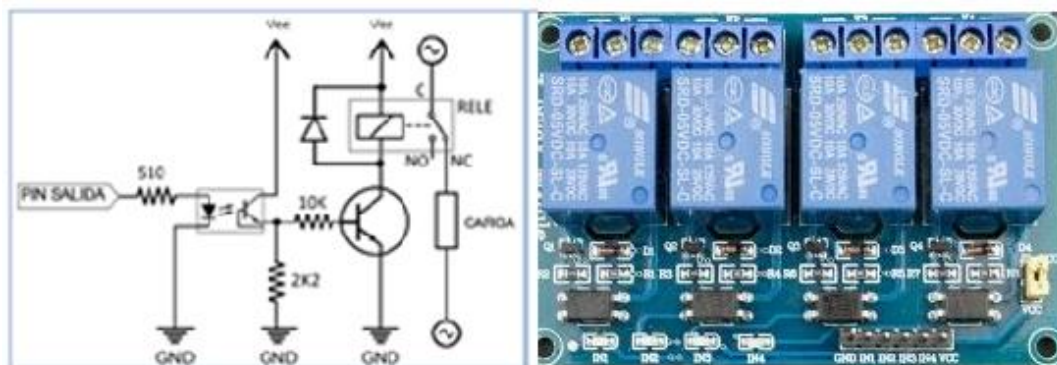
Fuente: Autor

### 4.1.2.4 Módulo interfaz de potencia relé de 4 canales

Su función principal es aislar la etapa de control que maneja señales de bajo voltaje y corrientes en el orden de los miliamperios, de la etapa de potencia que maneja valores elevados de voltaje y corriente.

El módulo relé de cuatro canales está diseñado con circuitos opto acopladores para realizar el aislamiento de la etapa de control y potencia; tiene 3 terminales distribuidos así: dos para la alimentación del circuito VCC, GND y uno para la señal de control o entrada lógica con la cual se activan las bobinas de los relés, los cuales tienen la capacidad máxima de corriente y voltaje para manejar cargas de 10A y 250VAC. El módulo es alimentado por 5Vcc para el trabajo del circuito electrónico y la activación de los relés en donde cada uno necesita entre 15 y 20 mA para activarse.

Figura 14. Interfaz de potencia



Cuadro 6. Especificaciones técnicas Interfaz de potencia

<b>Plataforma</b>	Arduino, 8051, AVR, PIC, DSP, ARM, MSP430, TTL
<b>Normas internacionales de seguridad</b>	Control de carga, área regional de tanque de aislamiento
<b>Aislamiento</b>	Si
<b>Interfaz</b>	Estándar
<b>Control</b>	Dispositivos varios/cargas
<b>Voltaje de operación</b>	250VAC/30VDC
<b>Voltaje de la bobina (relé)</b>	5V
<b>Corriente de operación</b>	10A
<b>Corriente de activación por relé</b>	15mA~20mA
<b>Canales</b>	4 (independientes protegidos con Opto acopladores)
<b>LED indicador</b>	Para cada canal (cuando bobina está activa)

Fuente. Autor

### 4.1.3 Hardware y el software utilizado para el proceso de toma de datos

En esta actividad se seleccionó los sensores para la toma de datos y elementos de control del sistema.

Cuadro 7. Elementos de medición y control

<b>DISPOSITIVO</b>	<b>VARIABLE</b>	<b>ACCION</b>
sensor de voltaje AC zmpt101b	voltaje AC	NA
sensor de voltaje DC FZ0430	voltaje DC	NA
sensor de corriente 1 ACS712	Corriente AC	NA
sensor de corriente 2 ACS712	Corriente DC	NA
Interface de 4 Relé	NA	Interface
Arduino MEGA 2560	NA	Control del sistema
Interruptores	NA	Control Circuito de carga

Fuente: Autor

## 4.2 Etapa 2

Diseñar un sistema de medición de variables eléctricas con tecnología Arduino, en instalaciones de generación de energía solar fotovoltaica en la Universidad Antonio Nariño sede Cúcuta.

Para alcanzar este objetivo se llevaron a cabo las siguientes actividades:

Proyectar el diseño del sistema de medición de variables eléctricas en instalaciones de energía solar fotovoltaica.



Realizar cálculos para el diseño del sistema de medición de variables eléctricas en instalaciones de energía solar fotovoltaica.

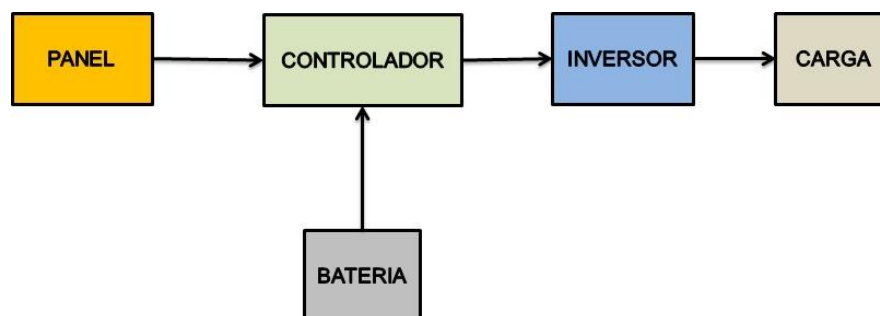
Plantear el programa para la medición de las variables eléctricas y su visualización.

### 4.2.1 Diseño del sistema de medición de variables eléctricas en instalaciones de energía solar fotovoltaica

La primera actividad que se planteó en la proyección del sistema de medición fue diseñar y determinar la red de energía solar desde la generación hasta la distribución y aplicación en una red interna que simula una vivienda.

Se planteó un sistema a bloques soportado en la estructura básica de un sistema de energía solar fotovoltaico.

Figura 15. Sistemas a bloques de la instalación de generación solar fotovoltaica



Fuente: Autor

Una vez diseñado el sistema a bloques se realizó un estudio de mercado para determinar los elementos necesarios para la construcción de la instalación solar, se tomaron datos de la carga a utilizar para las prácticas y se tuvo en cuenta que la manipulación del sistema la realizan estudiantes por lo cual se determinó utilizar una red de lámparas led de baja potencia y un ventilador de rack para simular una carga inductiva.

Las lámparas son de 5 W a 120 vac se toman tres lámparas cada una para un circuito, la idea principal en las practicas es medir cada circuito de una lámpara e ir aumentando la carga para simular el incremento del consumo que se vea reflejado en las variaciones de corriente AC.

El circuito del ventilador va a simular una carga inductiva que nos indicara como es el comportamiento del inversor con este tipo de carga.

### 4.2.1.1 Calculo de la corriente de carga

La potencia de las lámparas es de 3 W cada una y trabajan con un voltaje de 120 Vac

$$W = V * I$$

$$I = \frac{W}{V}$$

$$I = \frac{3}{120} \quad I = 25 \text{ mA}$$

Las lámparas estarán en paralelo en algún momento de la práctica. Luego:

ITL sería igual a la suma de las 3 corrientes  $IL1+IL2+IL3 = ITL$

La corriente del ventilador es  $I_{ven}=115 \text{ mA}$ . Con un voltaje de  $120 \text{ Vac}$

$$ITL=(25 \times 10^{-3}) \times 3=75 \text{ mA}$$

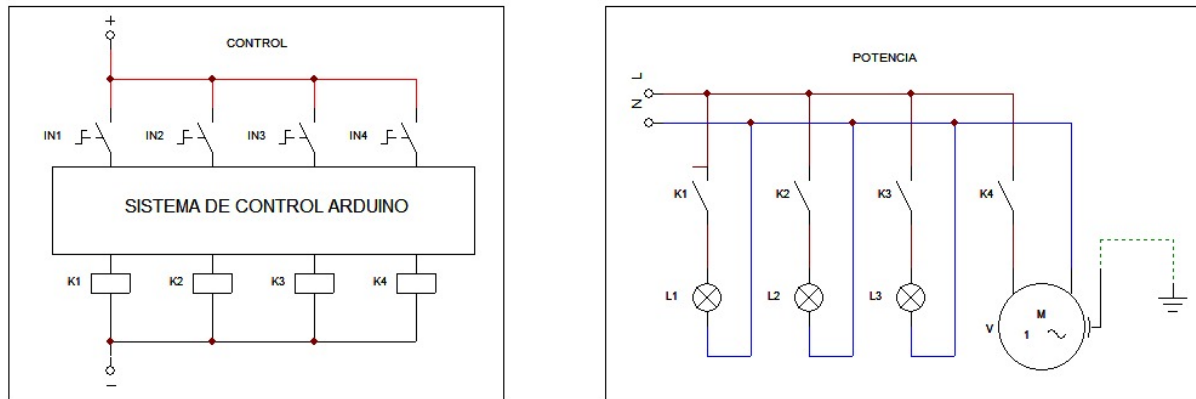
La IT será la suma  $IT= ITL+I_{ven}$   $IT=190 \text{ mA}$

### **4.2.1.2 Elementos de control en el circuito AC**

Se determina utilizar un DPS como totalizador del circuito para que el estudiante lo utilice y aprenda como es su funcionamiento y conexión. Se hace énfasis en el circuito de corriente alterna la aplicación de la normativa del RETIE.

Las lámparas y el ventilador se conmutan desde el Arduino y este las activa por intermedio de la tarjeta de potencia, está planteado de esta forma con la intención de que en el arduino se concentre el control general. El circuito de AC se inicia desde la salida del inversor, una vez determinados estos ítems se desarrolló un plano eléctrico del sistema de control y la carga.

Figura 16. Circuito de control y carga



### 4.2.1.3 Diseño instalación de generación solar

#### fotovoltaica

Para el diseño de la instalación de generación fotovoltaica se tomaron los datos de la carga y se revisaron los datos de los elementos con los que se realiza la instalación solar en el mercado.

Se calculó la potencia total WT

$$WT = VT * IT \quad WT = 120 * 190 \left[ (*10) \right] ^{-3} \quad WT = 22,8 \text{ W}$$

Paneles solares. De acuerdo a este consumo y teniendo en cuenta que la carga solo se conectara para pruebas se determinó usar 2 paneles de 30 w los cuales se conectarán en las prácticas en serie o paralelo y determinada practica actuara uno solo.

Cuadro 8. Características paneles solares

<b>Características Mecánicas</b>	
<b>Tipo de Celda</b>	<u>Policristalina</u> 156.75mm X 156.75mm
<b>Número de Celdas</b>	36 (4 x 5)
<b>Dimensiones</b>	510 x 450 x 25 mm
<b>Peso</b>	2.8 <u>Kgs</u>
<b>Vidrio Frontal</b>	3.2 mm alta transmisión, bajo hierro, vidrio templado
<b>Marco</b>	Aluminio anodizado
<b>Caja de Conexiones</b>	>IP65
<b>Cables de Salida</b>	2.5mm (2) cable 90cm + mc4
<b>Especificaciones</b>	
<b>Pico de Poder (<u>Pmax</u>)</b>	30.00
<b>Máximo Poder Voltaje (<u>Vmp</u>)</b>	18.15
<b>Máximo Poder (<u>Imp</u>)</b>	1.67
<b>Voltaje Circuito Abierto (<u>Voc</u>)</b>	21.3
<b>Corriente Corto Circuito (<u>Isc</u>)</b>	2.99
<b>Eficiencia de las Celdas %</b>	13.1
<b>Eficiencia del Módulo %</b>	13.74
<b>Máximo Voltaje Sistema (V)</b>	1000
<b>Máximo Rango Fusible (A)</b>	10
<b>Tolerancia Poder</b>	0 / + 3%
<b>Temperatura <u>Pmax</u> (W/°C)</b>	-0.400 %
<b>Temperatura <u>Voc</u> (V/°C)</b>	-0.300 %
<b>Temperatura <u>Isc</u> (A/°C)</b>	+0.060 %
<b>NOCT Temperatura</b>	45 +/- 2
<b>Temperatura Operación (°C)</b>	-0.470588235
<b>Condiciones Estándar (STC)</b>	1.000W / m(2) ; AM 1.5; 25+ / -2°C
<b>Desempeño Producto</b>	IEC61215
<b>Desempeño Seguridad</b>	IEC61730

Fuente: Autor.

Controlador. Se elige un controlador con rango de voltaje DC de entrada de máximo 55 Vdc y una corriente de 20 A.

Cuadro 9. Características controlador

Modelo	HP2410	HP2420	HP2430
Corriente Nominal	10A	20A	30A
Sistema de Voltaje	Automatic recognition of 12 V/ 24 V		
Perdida sin Carga	10A - 20A 30A	< 10mA/12V ; < 13mA/12V ;	< 12mA/24V < 15mA/24V
Entrada de Voltaje Max. en Energía Solar	<55V		
Max. voltaje Al final de la Batería	<35V		
Protección de Sobre voltaje	17.0V ; x2/24V ;		
Carga de Ecuilibración de Voltaje	14.6V ; x2/24V ;		
Aumento de Voltaje de Carga	14.4V ; x2/24V ;		
Voltaje de Carga Flotante	13.8V ; x2/24V ;		
Voltaje de recuperación de Carga	13.2V ; x2/24V ;		
Voltaje de recuperación de Sobrecarga	12.6V ; x2/24V ;		
Voltaje de Sobre - Descarga	11.1V ; x2/24V ;		
Ecuilibración del intervalo de carga	30days		
Ecuilibración del tiempo de carga	1H		
Aumento tiempo de carga	2H		
Temperatura de Compensación	-3.0mV/°C/2V		
Control de Voltaje de Luz	Light control on 5V, x2/24V ; light control off 6V, x2/24V ;		
Tiempo de Control de Luz	10A - 20A 1 minuto		
	30A 10 minutos		
Temperatura de Operación	-25°C to +55°C ;		
Protección IP	IP30		
Peso Neto	100g	160g	390g
Funciones de Protección	Solar panel short circuit and reverse-connection protection		
	Over-temperature, overload and short circuit protection		
Dimensiones	103×71×36 (mm)	130×75×38 (mm)	164.0×103.5×47.0 (mm)

Fuente: Autor

Inversor DC/AC. El inversor se compra de 300 watos que es lo mínimo que se consigue en el mercado y cumple con los requerimientos del sistema.

Cuadro 10. Características inversor

<b>Modelo (RGP)</b>	300	600	1000	1500	2000
<b>Salida de Potencia (w)</b>	300	600	1000	1500	2000
<b>Potencia pico (W)</b>	600	1200	2000	3000	4000
<b>Entrada de Voltaje DC</b>	DC 12V/24V				
<b>Salida de Voltaje</b>	100VAC or 110 VAC or 120VAC $\pm$ 5%				
<b>Corriente sin Carga (menor que)</b>	12V:0,5A; 24V:0,3A; 48V: 0,1A (Según modelo)				
<b>Frecuencia de Salida</b>	60HZ $\pm$ 0.5HZ				
<b>Salida de Onda</b>	Onda Modificada				
<b>Distorsión de Onda</b>	THD<3% (Linear Load)				
<b>Max. Eficiencia de trabajo</b>	94.80%				
<b>Rango de Voltaje</b>	12V/9.55 –15.5V 24V/19.8-30.27V 48V/40.2 –60.4V				
<b>Temperatura de trabajo</b>	-10°- $\pm$ 50°				
<b>Fusible</b>	DC protección de corto circuito				
<b>Protección</b>	Batería baja/sobre voltaje, sobrecarga, temperature, AC protección de corto circuito ( protección de polaridad positiva y negativa)				
<b>Modo de refrigeración</b>	Enfriamiento inteligente , construido en bloque de enfriamiento				

Fuente. Autor

Baterías. Las Baterías eligieron baterías de 12 v 9 Ah.

(Véase el Cuadro 11).

Cuadro 11. Características Baterías

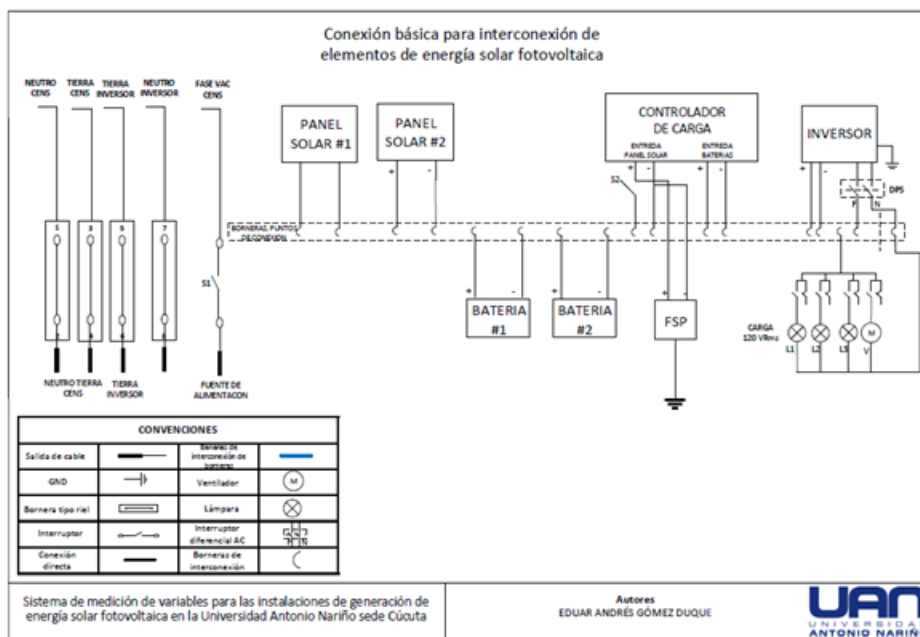
<b>Voltaje Nominal</b>	12V
<b>Capacidad Nominal (20 Hr)</b>	9.0 Ah
<b>Dimensiones</b>	Longitud 151±2mm(5.95 ") Ancho 65±1mm (2.56 ") Altura 94±1mm(3.70 ") Altura Total 102±2mm(4.02 ")
<b>Peso Aproximado</b>	Aprox. 2.7 kg (5.87 lbs)
<b>Terminal</b>	T1/T2-F1/F5
<b>Material del Envase</b>	ABS UL 94-HB (retardante de llamaUL94V-0)
<b>Rango de Operación</b>	9.00 AH (20hr,0.450A,1.75V/celda, 25° C/77°F) 8.51 AH (10hr,0.851A,1.75V/ celda, 25° C/77°F) 7.75 AH (5hr,1.55A,1.75V/ celda, 25° C/77°F) 6.90 AH (3hr,2.30A,1.75V/ celda, 25° C/77°F) 5,98 AH (1hr,5.98A,1.60V/ celda, 25° C/77°F)
<b>Resistencia Interna</b>	Aprox. 13.6mΩ
<b>Máxima Corriente de Descarga</b>	135A(5s)
<b>Rango de Temperatura de Operación</b>	Descarga -15~50°C (5~122°F)
<b>Rango Nominal de Temp. de Operación</b>	Carga -15~40°C (5~104°F) Almacenamiento -15~40°C (5~104°F)
<b>Ciclo de Uso</b>	Corriente de carga inicial de menos de 2.70. Voltage. 14.4V ~ 15.0V a 25° C (77° F) de temperatura. Coeficiente -30mV/°C
<b>Modo Espera</b>	No hay límite en la carga inicial de tensión actual. 13.5V ~ 13.8V a 25°C (77° F) Temp. Coeficiente -20mV/°C
<b>Capacidad Afectada por la temperatura</b>	40°C (104°F) 103% 25°C (77°F) 100% 0°C (32°F) 86%
<b>Auto- descarga</b>	Las Baterías de la serie Fulibattery GS se pueden almacenar durante un máximo de 6 meses a 25°C (77°F) y luego se requiere una carga de reposición. Para temperaturas más altas del intervalo de tiempo será más corto.

Fuente: Autor

Después de seleccionar los equipos se procedió a implementar el plano de la instalación de generación de energía solar fotovoltaica.



Figura 17. Instalación de generación de energía solar fotovoltaica (Anexo A)



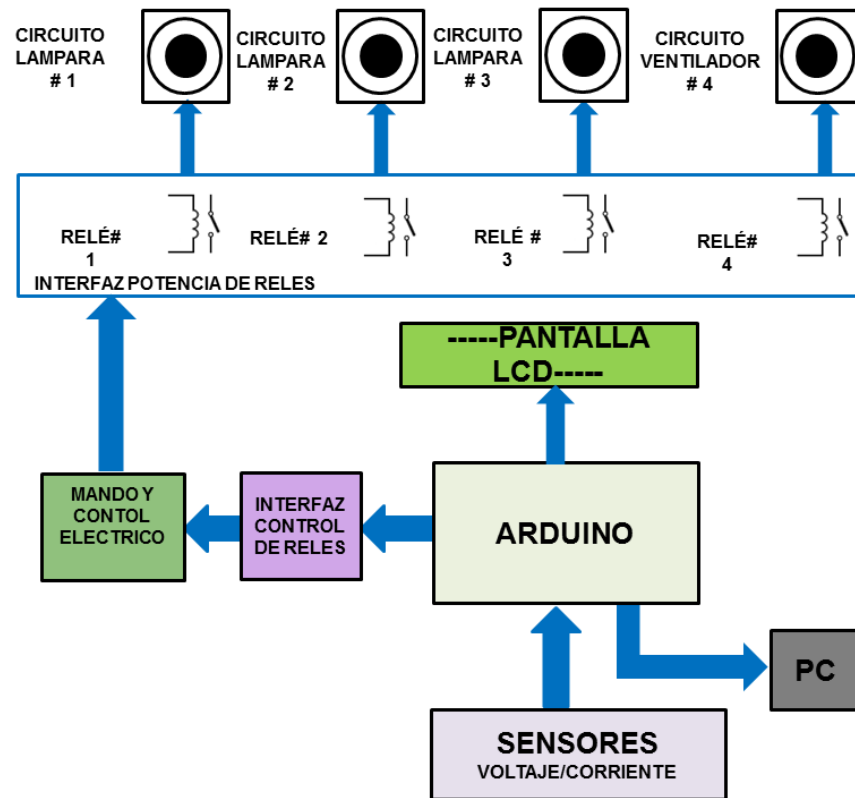
Fuente: Autor

#### 4.2.1.4 Diseño del sistema de control y medición

De acuerdo al hardware seleccionado en la etapa 1 se proyectó un sistema a bloques para uniendo la generación el sistema de medida y adquisición de datos con el arduino y la carga eléctrica en AC.

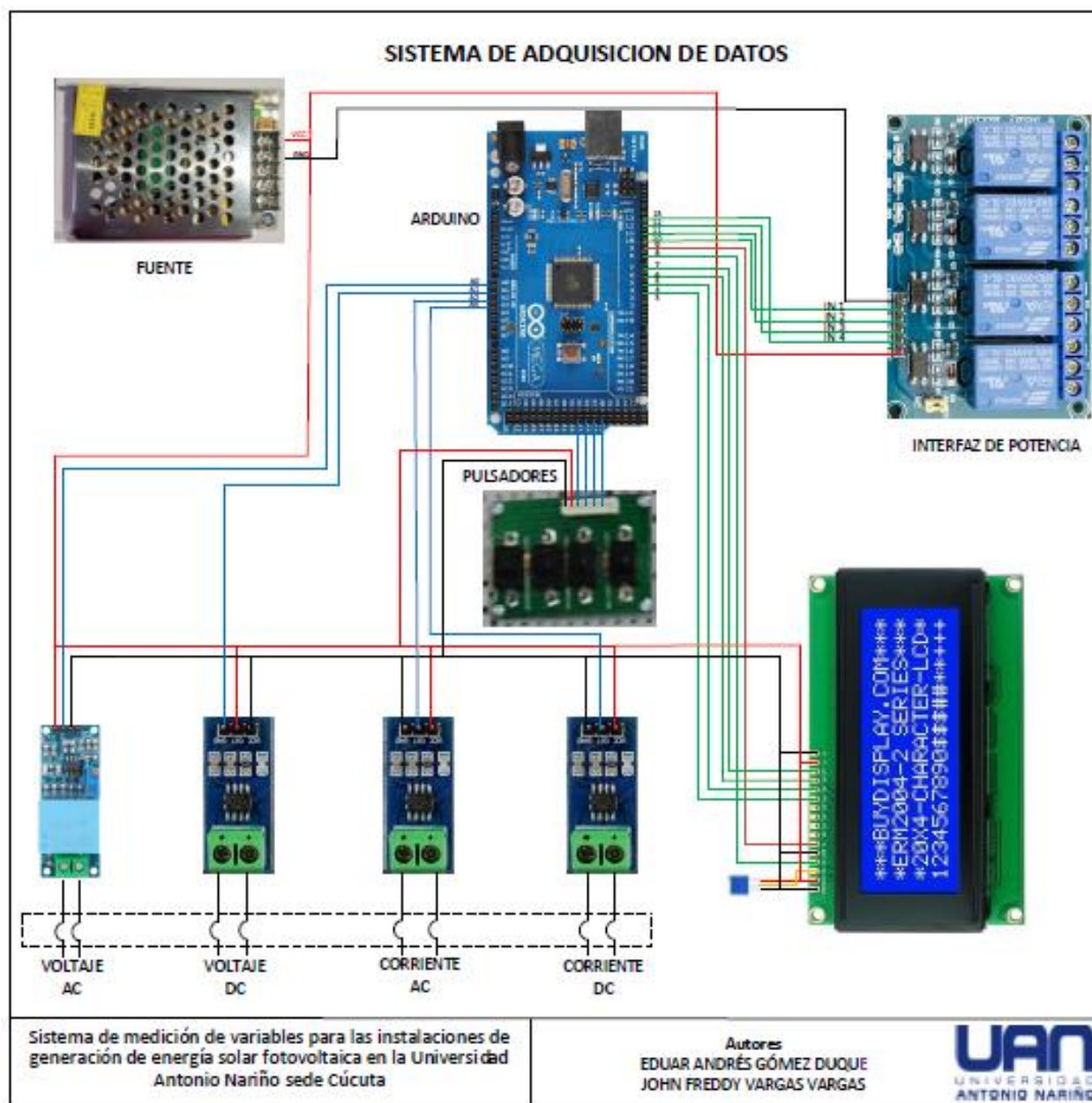
(Véase la Figura 18).

Figura 18. Sistema de control y medición



Una vez proyectado el sistema a bloques se diseña el plano de conexiones eléctrico del sistema de adquisición, visualización de datos y control del sistema.

Figura 19. Sistema de adquisición, visualización de datos y control



## 4.2.2 Diseño del software para el sistema de medición con plataforma Arduino

Para el desarrollo de la aplicación de software, se utilizaron herramientas libres tomando como lenguaje de programación IDE del Arduino y el paquete de librerías para el complemento del programa de acuerdo con los requerimientos en cada paso de medición y adquisición de datos, a continuación, se detalla cada una de las herramientas utilizadas:

### 4.2.2.1 Prueba para medición de corriente

A continuación, se muestra el código para un realizar la lectura de corriente:

```
float Sensibilidad=0.185; //sensibilidad en Voltios/Amperio para sensor de 5A
void setup() {
  Serial.begin(9600);
}
void loop() {
  float voltajeSensor= analogRead(A0)*(5.0 / 1023.0); //lectura del sensor
  float I=(voltajeSensor-2.5)/Sensibilidad; //Ecuación para obtener la corriente
  Serial.print("Corriente: ");
  Serial.println(I,3);
  delay(200);
}
```

## Código Arduino. Del sistema de control, medición y visualización:

```

#include <Filters.h>
#include <LiquidCrystal.h>
/*VALORES DE CONFIGURACIÓN SENSOR ZMPT101B*/
float testFrequency = 60;
float windowLength = 40.0 / testFrequency;
float intercept = -0.04;
float slope = 0.0405;
/*SENSIBILIDAD PARA SENSORES ACS712*/
double sensibilidad = 0.1;
/*DECLARAMOS LOS PINES ANÁLOGOS PARA LOS SENSORES*/
int voltage = A0;
int voltage1 = A1;
int current = A2;
int current1 = A3;
/*DECLARAMOS LOS PINES DIGITALES PARA LOS RELEVOS*/
int pinRele = 10;
int pinRele1 = 11;
int pinRele2 = 12;
int pinRele3 = 13;
/*DECLARAMOS LOS PINES DIGITALES PARA LA LCD*/
int lcd4 = 8;
int lcd6= 9;
int lcd11 = 7;
int lcd12 = 6;
int lcd13 = 5;
int lcd14 = 4;
LiquidCrystal lcd(8,9,7,6,5,4);
/*DECLARAMOS LA VARIABLE PARA MENSAJES*/
char dato = '0';
/*DECLARAMOS LAS VARIABLES DE PULSADORES*/
int pulIn1 = 31;
int pulIn2 = 33;
int pulIn3 = 35;
int pulIn4 = 37;
/*PERSONALIZAMOS LAS LETRAS A, C Y D*/
byte L_A[8] = {
    B00000,
    B00000,
    B00000,
    B11100,
    B10100,
    B11100,
    B10100,
    B10100
};
byte L_C[8] = {
    B00000,
    B00000,
    B00000,
    B11100,
    B10000,
    B10000,
    B10000,
    B11100
};
};

```

```

byte L_D[8] =
{
    B00000,
    B00000,
    B00000,
    B11000,
    B10100,
    B10100,
    B10100,
    B11000
};

void setup() {
    /*INICIALIZAMOS EL PUERTO SERIAL*/
    Serial.begin(9600);
    /*CONFIGURAMOS LAS LETRAS*/
    lcd.createChar(0, L_A);
    lcd.createChar(1, L_C);
    lcd.createChar(2, L_D);
    /*INICIALIZAMOS LA LCD*/
    lcd.begin(20,4);
    /*CONFIGURAMOS LOS PINES COMO SALIDA*/
    pinMode(pinRele, OUTPUT);
    pinMode(pinRele1, OUTPUT);
    pinMode(pinRele2, OUTPUT);
    pinMode(pinRele3, OUTPUT);
    /*MOSTRAMOS MENSAJE DE BIENVENIDA*/
    lcd.setCursor(5,1);
    lcd.print("UNIVERSIDAD");
    lcd.setCursor(4,2);
    lcd.print("ANTONIO NARIÑO");
}

void loop() {
    /*EJECUTAMOS CONFIGURACIÓN DEL ZMPT101B*/
    RunningStatistics inputStats;
    inputStats.setWindowSecs(windowLength);
    /*CAPTURAMOS LOS VALORES DE LOS SENSORES*/
    double ACS712 = (analogRead(current) * (5.0 / 1023.0));
    double ACS712_1 = map(analogRead(voltage), 0, 1023, 0, 25);
    inputStats.input(analogRead(current1));
    double ZMPT101B = (intercept + slope * inputStats.sigma()) * 40.3231;
    double FZ0430_1 = map(analogRead(voltage1), 0, 1023, 0, 25);
    /*ENCENDEMOS O APAGAMOS SEGUN EL DATO RECIBIDO*/
    int led1 = 0, led2 = 0, led3 = 0;
    if (dato == '1') {
        led1 = 1;
        digitalWrite(pinRele, HIGH);
    }
    if (dato == '2') {
        led1 = 0;
        digitalWrite(pinRele, LOW);
    }
    if (dato == '3') {
        led2 = 1;
        digitalWrite(pinRele1, HIGH);
    }
}

```

```

    if (dato == '5') {
        led3 = 1;
        digitalWrite(pinRele2, HIGH);
    }
    if (dato == '6') {
        led3 = 0;
        digitalWrite(pinRele2, LOW);
    }
    inputStats.input(ZMPT101B);

    printData(ACS712, ACS712_1, ZMPT101B, FZ0430_1);
    sendData(ACS712, ACS712_1, ZMPT101B, FZ0430_1, led1, led2, led3);
    readData(5000);
}

void readData(int tiempo) {
    int i = 0;
    while (i < tiempo) {
        if (Serial.available() > 0) {
            dato = Serial.read();
            Serial.println(dato);
        }
        i = i + 1;
        delay(1);
    }
}

void printData(double S1, double S2, double S3, double S4) {
    double S1B = (S1 - 2.5) / sensibilidad;
    double S2B = (S2 - 2.5) / sensibilidad;

    lcd.setCursor(5,1);
}

void sendData(double S1, double S2, double S3, double S4, int statusL1, int statusL2,
int statusL3) {
    double S1B = (S1 - 2.5) / sensibilidad;
    double S2B = (S2 - 2.5) / sensibilidad;

    Serial.print(S1, 2);
    Serial.print(':');
    Serial.print(S1B, 2);
    Serial.print(':');
    Serial.print(S2, 2);
    Serial.print(':');
    Serial.print(S2B, 2);
    Serial.print(':');
    Serial.print(S3, 1);
    Serial.print(':');
    Serial.print(S4, 1);
    Serial.print(':');
    Serial.print(statusL1);
    Serial.print(':');
    Serial.print(statusL2);
    Serial.print(':');
    Serial.println(statusL3);
}

```

## **4.3 Etapa 3**

Diseñar un módulo de prácticas de laboratorio para la medición de variables eléctricas con tecnología Arduino, en instalaciones de generación de energía solar fotovoltaica en la Universidad Antonio Nariño Sede Cúcuta.

Para alcanzar este objetivo se llevaron a cabo las siguientes actividades:

Plantear las prácticas de laboratorio para la medición de las variables eléctricas en la instalación de energía solar fotovoltaica.

Validar las prácticas de medición mediante un simulador digital.

### **4.3.1 Diseño guías**

Las guías se diseñaron bajo la norma de competencias, se diseñaron 10 guías.



Figura 20. Formato de las guías de laboratorio

<b>UAN</b> UNIVERSIDAD ANTONIO NARIÑO CÚCUTA	UNIVERSIDAD ANTONIO NARIÑO SEDE CUCUTA	Versión 01 2020
---	---	--------------------

**1. IDENTIFICACIÓN DE LA GUIA DE LABORATORIO**

Código:	Fecha: (Día - Mes - Año): ____ - ____ - ____
Sede:	Nombre del programa:
Unidad de formación:	Duración de la práctica en horas:
Unidad de Aprendizaje:	Semestre Académico:
Objetivos:	

**2. INTRODUCCIÓN**

**3. PLANTEAMIENTO DE LAS ACTIVIDADES Y ESTRATEGIAS DE APRENDIZAJE**

Actividad 1.

Actividad 2.

Actividad 3.

**4. EVALUACIÓN**

EVIDENCIAS DE APRENDIZAJE	CRITERIOS DE EVALUACION	TECNICAS E INSTRUMENTOS DE EVALUACION
Evidencias de conocimientos		

Evidencias de Desempeño		
Evidencias de Producto		

**5. AMBIENTES DE APRENDIZAJE, MEDIOS Y RECURSOS DIDÁCTICOS**

**AMBIENTES**

**EQUIPOS:**

**RECURSOS:**

**6. GLOSARIO**

**7. BIBLIOGRAFIA**

Elaborada por:	Fecha		
Ajustada por:	Fecha		

Página 1 de 2

Página 2 de 2

Fuente: Autor

(Ver Anexo B Guías).

Cuadro 12. Actividades de las guías

No GUIA	ACTIVIDAD DE LA GUIA
GUIA 1	Determinar la medida de la tensión del panel solar fotovoltaico sin carga.
GUIA 2	Identificar los datos técnicos proporcionados por los fabricantes de los paneles fotovoltaicos.
GUIA 3	Identificar los datos técnicos proporcionados por los fabricantes del control de los sistemas fotovoltaicos.
GUIA 4	Identificar los datos técnicos del controlador de los sistemas fotovoltaicos.
GUIA 5	Identificar la instrumentación del sistema de medición de energía solar fotovoltaica
GUIA 6	Realizar mediciones a dispositivos de energía solar fotovoltaica.
GUIA 7	
GUIA 8	
GUIA 9	
GUIA 10	

## 4.4 Análisis Económico

(Véase el Cuadro 13).

Cuadro 13. Presupuesto global del proyecto

<b>PRESUPUESTO</b>	
<b>MATERIA PRIMA (MP)</b>	
<b>DESCRIPCION</b>	<b>VALOR</b>
MATERIALES ELECTRICOS Y EQUIPOS FOTOVOLTAICOS	\$ 1.446.238
ESTRUCTURA METALMECANICA	\$ 800.000
<b>TOTAL</b>	<b>\$ 2.246.238</b>
<b>MANO DE OBRA (MO)</b>	
<b>DESCRIPCION</b>	<b>VALOR</b>
GASTOS DE INGENIERIA Y ADMINISTRACIÓN	\$ 1.000.000
<b>TOTAL</b>	<b>\$ 1.000.000</b>
<b>COSTOS INDIRECTOS DE FABRICACION (CIF)</b>	
<b>DESCRIPCION</b>	<b>VALOR</b>
PAPELERIA	\$ 500.000
<b>TOTAL</b>	<b>\$500.000</b>
<b>TOTAL PRESUPUESTO</b>	
<b>DESCRIPCION</b>	<b>VALOR</b>
MATERIA PRIMA (MP)	\$ 2.246.238
MANO DE OBRA (MO)	\$ 1.000.000
COSTOS INDIRECTOS DE FABRICACION (CIF)	\$ 500.000
<b>TOTAL</b>	<b>\$ 3.746.238</b>

Cuadro 14. Cotización de materiales y equipos para el proyecto

ITEM	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	VALOR TOTAL	VALOR UNITARIO
1	MODULO FOTOVOLTAICO POLICRISTALINO POTENCIA 50W	2	\$ 165.500	\$ 331.000
3	SET DE CONECTORES MC4Y TIPO Y HEMBRA -MACHO	1	\$ 28.689	\$ 28.689
5	SET DE CONECTORES MCA HEMBRA - MACHO	2	\$ 85.546	\$ 171.092
6	DPS CLAMPER SOLAR 1040V 40KA	1	\$ 195.143	\$ 195.143
7	MINIBREAKER NB1-63DC 1P-16 6KA	1	\$ 54.622	\$ 54.622
8	CONTROLADOR DE CARGA 20A PWM	1	\$ 130.000	\$ 130.000
9	INVERSOR ONDA MODIFICADA 300W	1	\$ 147.000	\$ 147.000
10	CABLE FOTOVOLTAICO PROCABLES 4MM2 (NEGRO)	2	\$ 9.202	\$ 18.404
11	BATERIA AGM 9AH 12V	4	\$ 75.345	\$ 301.380
12	BREAKER 10AMP	1	\$ 68.908	\$ 68.908
<b>TOTAL MATERIALES ELECTRICOS Y EQUIPOS FOTOVOLTAICOS</b>				<b>\$ 1.446.238</b>

## 4.5 Análisis De Impacto Ambiental

Al realizar el análisis del impacto ambiental en el uso de las fuentes de energía no convencionales se debe conocer la existencia de varios tipos, los cuales aprovechan diferentes fuentes como la solar térmica o fotovoltaica, biomasa, geotérmica, eólica, mareomotriz.

Entre las fuentes energéticas más amigables con el medio ambiente se encuentran las

energías eólica y fotovoltaica, debido a que no que no contaminan y que a su vez su utilización no implica el agotamiento de la misma para satisfacer la demanda energética de la humanidad al momento de aprovechar los recursos disponibles de la radiación solar y velocidad del viento, lo cual brinda significativos menores impactos respecto a los sistemas tradicionales de generación de energía.( Los impactos ambientales de la implementación de la energía eólica y solar en el Caribe colombiano 2014 Jorgelina Pasqualino, Cristina Cabrera, Marley Vanegas Chamorro <http://www.scielo.org.co> ).

Con el diseño adecuado del sistema de medición de variables eléctricas en energía solar fotovoltaica se puede obtener un beneficio en favor del medioambiente en este sector, ya que al capacitar ingenieros, tecnólogos, técnicos en la medición y apropiación de estos sistemas se gana un recurso humano que se preocupara en el presente y el futuro en la preservación de estos sistemas. Ya que en la mayoría de los proyectos industriales se requiere energía eléctrica para su funcionamiento allí se puede incluir un sistema de alimentación con energía solar que cumple dos funciones mantener el sistema funcionado cuando haya cortes de energía y al mismo tiempo proteger el medio ambiente.

## **4.6 Glosario**

Celda solar: Elemento que transforma la radiación solar en energía eléctrica.

CO<sub>2</sub>: Dióxido de Carbono o Anhídrido Carbónico. Es un gas con una alta incidencia en el “efecto invernadero”. Se produce en los procesos de combustión de gasóleo, gas natural, carbón, etc.

Efecto Invernadero: Determinados gases como el CO<sub>2</sub>, impiden la salida natural de radiación desde la Tierra hacia el espacio, contribuyendo a que aumente la temperatura y se produzcan fenómenos tales como la desertización, el deshielo creciente, etc.

Eficacia luminosa: es el indicador de cuan eficaz es la fuente de luz

Kilovatio pico (kWp): Es la potencia eléctrica máxima que proporciona un panel fotovoltaico en condiciones estándares de medida. Los módulos fotovoltaicos se caracterizan por su potencia pico.

Potencia pico: Potencia máxima de trabajo del panel fotovoltaico.

Sistema fotovoltaico: un sistema fotovoltaico es un grupo de elementos conectados que sirven como fuente de energía y usan como fuente primaria el sol.

Vatio (W): Unidad de potencia eléctrica, equivale a un Julio por segundo.

Vatio Hora (Wh): Unidad de trabajo, o energía. Un Wh equivale a la energía producida o consumida por 1 Wp en condiciones de máxima potencia durante una hora.

## 5. Conclusiones

El estudio de la tecnología Arduino y su aplicación en la medición de variables eléctricas fue un aspecto enriquecedor, porque se aplicaron conocimientos obtenidos en la formación como Ingeniero Electromecánico que fueron fundamentales para la realización del diseño, específicamente en el área eléctrica, física y electrónica.

El desarrollo de este trabajo en cuanto al diseño me permitió explorar las nuevas tecnologías de sistemas embebidos aplicados al control y adquisición de datos en un proceso determinado, como fue las mediciones de variables eléctricas en instalaciones de generación de energía solar fotovoltaica.

El diseño del módulo de prácticas de laboratorio para la medición de variables eléctricas con tecnología Arduino y la aplicación de energía solar fotovoltaica me dejó una experiencia en el ámbito laboral que puedo aplicar en mi trabajo en la empresa Termotasajero en el área ambiental.

## **6. Recomendaciones**

El sistema diseñado para la formación de ingenieros en el manejo y medición de las variables eléctricas en un sistema de energía solar fotovoltaica presenta una excelente viabilidad académica, por lo cual se recomienda que su uso se implemente para prácticas de circuitos eléctricos, física y electrónica buscando que el estudiante visualice el desarrollo y aplicación de estos conceptos en su entorno laboral.

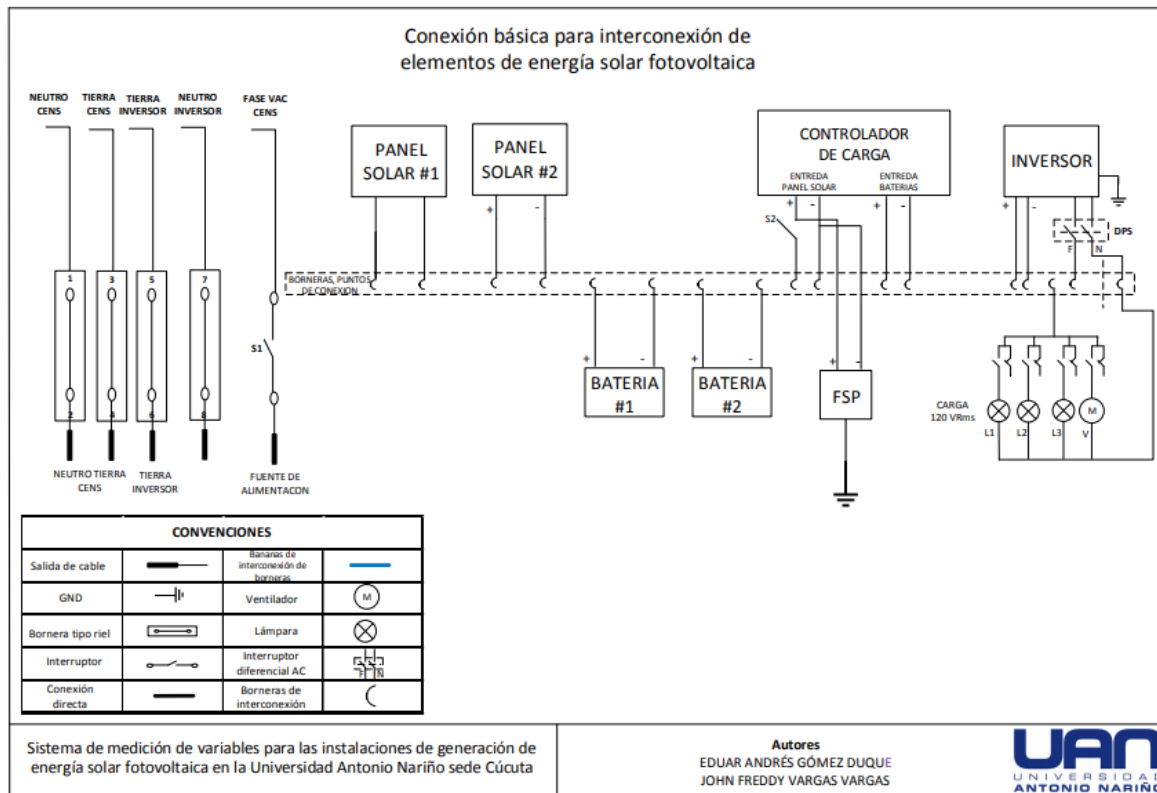


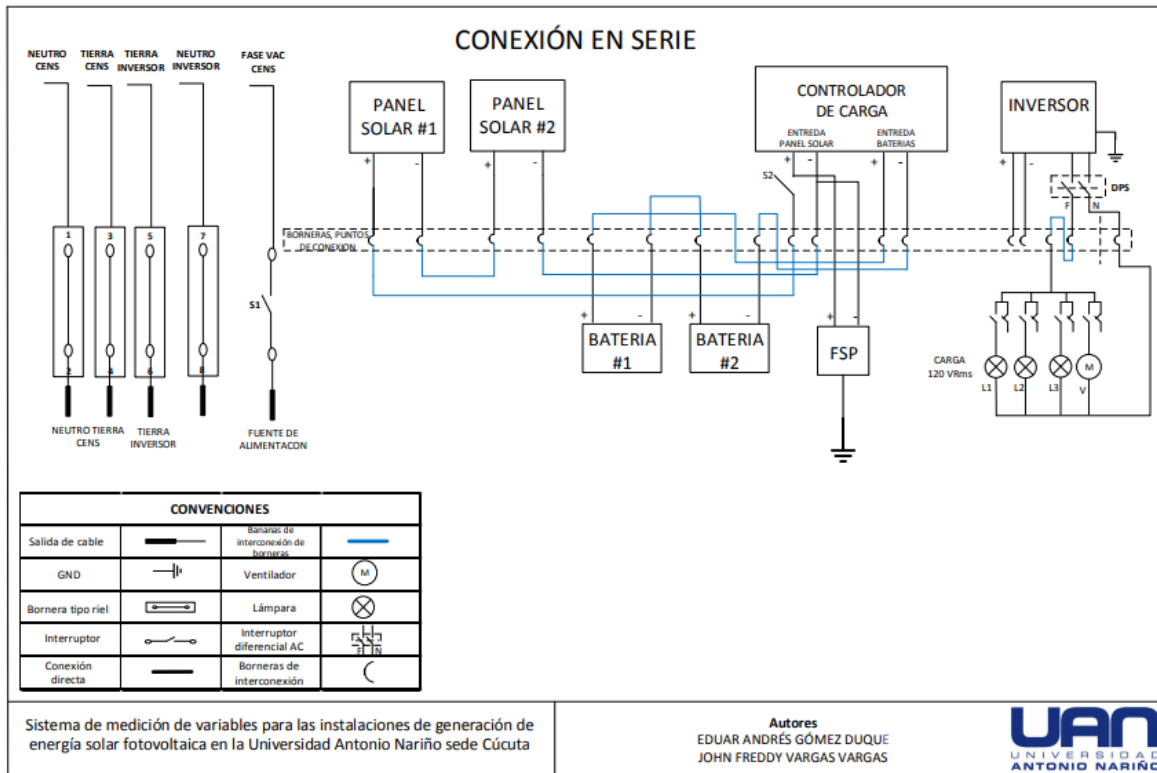
## Referencias Bibliográficas

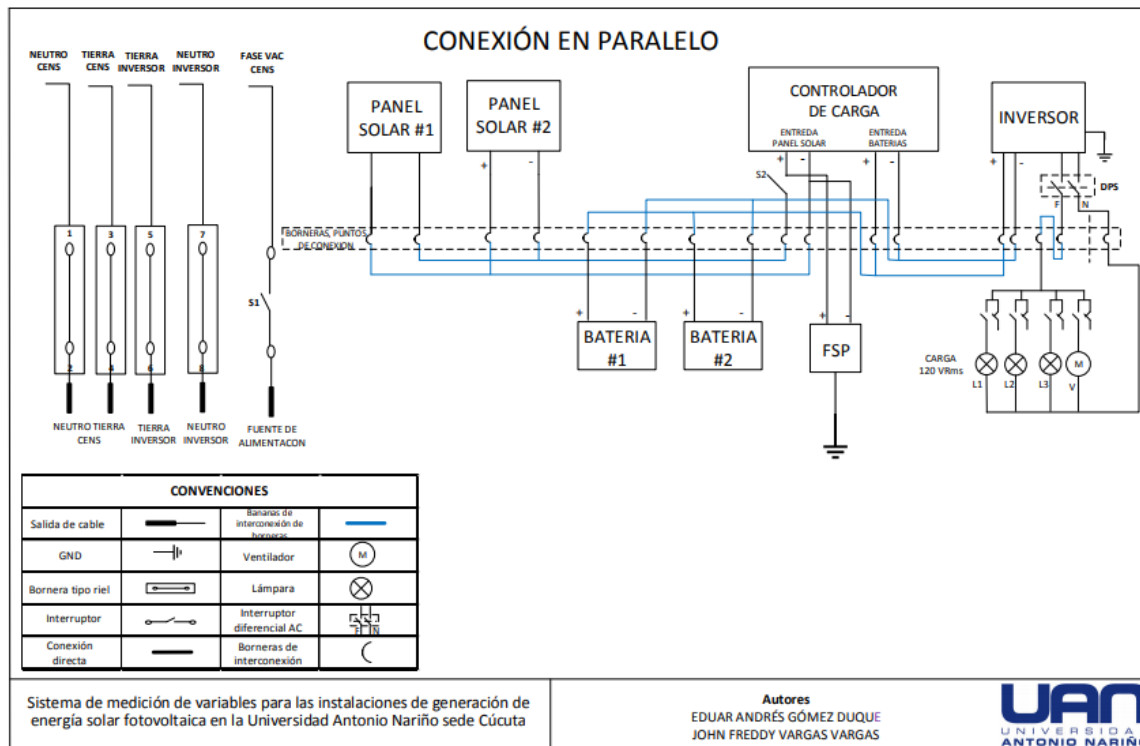
- Aprovechamiento de la energía solar. [en línea]. Disponible en: [http :  
//tesis.uson.mx/digital/tesis/docs/22832/capitu102.pdf](http://tesis.uson.mx/digital/tesis/docs/22832/capitu102.pdf)
- Aspectos del desarrollo sostenible referentes a los recursos naturales [en línea]. Bogotá, D.C.: ONU, 1997. [Consultado 1 de Abril De 2007].
- Earth & Environment [en línea]. EUA: Scientific american, 2008. [Consultado 15 de marzo 2007].
- Ejemplo de Ley de Watt. [en línea]. Disponible en: [https://www.ejemplode.com/37-fisica/4216-ejemplo\\_de\\_ley\\_de\\_watt.html](https://www.ejemplode.com/37-fisica/4216-ejemplo_de_ley_de_watt.html)
- Electricidad solar. [en línea]. España: Atersa, 2007. [Consultado 21 de mayo de 2007].
- Ley de Ohm – Wikipedia. [en línea]. Disponible en: [https://es.wikipedia.org/wiki/Ley\\_de\\_ohm](https://es.wikipedia.org/wiki/Ley_de_ohm).
- Manual teórico y práctico sobre los sistemas fotovoltaicos [en línea] México: Solartronic, 2007.
- Proyección de demanda de energía eléctrica y potencia. [en línea]. Colombia: Unidad de planeación minero energética (UPME).

## **Anexos**

## Anexo 1. Conexión básica para interconexión de elementos de energía solar fotovoltaica







## Anexo 2. Guías

	<b>UNIVERSIDAD ANTONIO NARIÑO</b> SEDE CUCUTA	Versión 01 2020
---	--	--------------------

### 1. IDENTIFICACIÓN DE LA GUIA DE LABORATORIO

Codigo:	Fecha: (Día – Mes – Año): ____ – ____ – ____	
Sede:	Nombre del programa:	
Unidad de formación:	Duración de la practica en horas:	
Unidad de Aprendizaje:	Semestre Academico:	
Objetivos:		

### 2. INTRODUCCIÓN

### 3. PLANTEAMIENTO DE LAS ACTIVIDADES Y ESTRATEGIAS DE APRENDIZAJE

Actividad 1.

Actividad 2.

Actividad 3.

### 4. EVALUACIÓN

EVIDENCIAS DE APRENDIZAJE	CRITERIOS DE EVALUACION	TECNICAS E INSTRUMENTOS DE EVALUACION
Evidencias de conocimientos		

 <p><b>UAN</b> UNIVERSIDAD ANTONIO NARIÑO CÚCUTA</p>	<p><b>UNIVERSIDAD ANTONIO NARIÑO</b> SEDE CUCUTA</p>	<p>Versión 01 2020</p>
---	--	----------------------------

<b>Evidencias de Desempeño</b>		
<b>Evidencias de Producto</b>		

**5. AMBIENTES DE APRENDIZAJE, MEDIOS Y RECURSOS DIDÁCTICOS**

**AMBIENTES**

**EQUIPOS:**

**RECURSOS:**

**6. GLOSARIO**

**7. BIBLIOGRAFIA**

Elaborada por:	Fecha			
Ajustada por:	Fecha			

### Anexo 3. Manual del Usuario

 <p><b>UAN</b> UNIVERSIDAD ANTONIO NARIÑO CÚCUTA</p>	<p><b>UNIVERSIDAD ANTONIO NARIÑO</b> <b>SEDE CUCUTA</b></p>	<p>Versión 01 2021</p>
---	---	----------------------------

**Manual de usuario para sistema de medición de variables para las instalaciones de generación de energía solar fotovoltaica en la Universidad Antonio Nariño sede Cúcuta**



1. Realizar la conexión del banco a 110 Vac.
2. Conmutar el breaker S1 para energizar el sistema de medición y monitoreo.



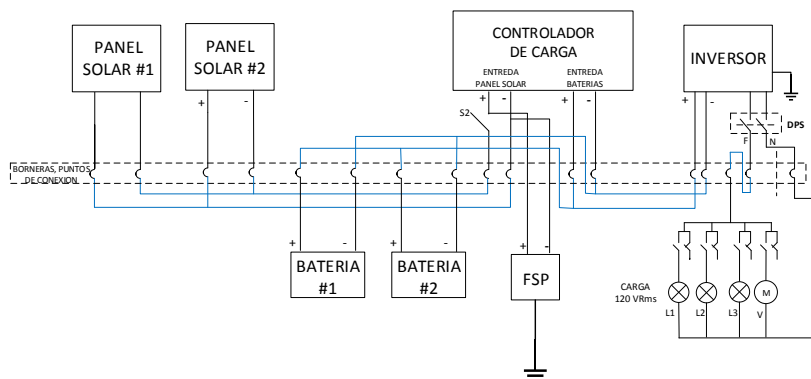


3. Para iniciar asegúrese que la pantalla LCD haya iniciado y este mostrando valores aleatorios

```

Voltaje AC= 768.00V
Voltaje DC=9.02V
Corriente AC=7.55A
Corriente DC=11.02A
  
```

4. Realizar las conexiones según la guía de conexión de los elementos.



- 4.1. Se conectan en paralelo los dos paneles "P1+" con "P2+" y "P1-" con "P2-"
- 4.2. Se conectan en paralelo los dos baterías "B1+" con "B2+" y "B1-" con "B2-"
- 4.3. Se conecta el equivalente de las baterías a las borneras "IB+" y "IB-" teniendo en cuenta su polarización.
- 4.4. Se conecta el equivalente de los paneles a las borneras "IP+" y "IP-" teniendo en cuenta su polarización.

- 4.5. Conmutar el breaker S3 y verificar en el controlador que este indicando que tengo alimentación de los paneles.
- 4.6. Conectar en paralelo las borneras “IB+” y “IB-“ teniendo en cuenta su polarización con las entradas “I+” y “I-“.
- 4.7. Encender el inversor que se encuentra en la parte de atrás accionando el interruptor.

**Nota:** el inversor al encender acciona su alarma unos segundos y luego se desactiva, si la alarma permanece se debe inspeccionar cual es el error que tienen el inversor

- 4.8. Conectar las borneras de salida del inversor “O-F” con la bornera “RL”.

**Nota:** se debe tener cuidado cuando se esté conectado porque en este punto ya tenemos una alimentación de corriente alterna.

- 4.9. conmutar el breaker de salida inversor “S2”

5. Activar las lámparas de acuerdo a los requerimientos de las guías con los interruptores L1, L2, L3 y L4

6. Realizar las medidas de voltaje DC con el voltímetro de DC en paralelo a las conexiones de los paneles o de las baterías teniendo en cuenta su polarización

**Nota:** no exceder los 24 voltios en dc ya que el sensor no soporta más de 25 voltios DC en caso de exceder los 24 voltios DC utilizar un voltímetro externo.

7. Realizar la medida de voltaje AC con el voltímetro de AC en paralelo a las conexiones de la salida del inversor “O-F” y “Neutro” teniendo en cuenta su polarización