



**Montaje de un Sistema de Medición de Variables Eléctricas
para las Instalaciones de Generación de Energía Solar
Fotovoltaica En La Universidad Antonio Nariño Sede
Cúcuta**

John Freddy Vargas Vargas

Universidad Antonio Nariño

Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica Y Biomédica Programa De Ingeniería
Electromecánica

San José de Cúcuta

2021

Montaje de un Sistema de Medición de Variables Eléctricas para las Instalaciones de Generación de Energía Solar Fotovoltaica En La Universidad Antonio Nariño Sede Cúcuta

John Freddy Vargas Vargas

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 el inspirador y darme fuerza para continuar
en este proceso de obtener uno de los anhelos más deseados.*

*A mis padres por ser los gestores de este triunfo,
gracias por su apoyo incondicional.*

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, por su ayuda incondicional como docente.

Ing. PhD. 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 montaje 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 la 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 montaje del sistema se enfoca en buscar el mejor laboratorio en cuanto a tecnología de punta y bajos costos en su construcción, 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: Medición, corriente, energía solar, fotovoltaica, voltaje.

Abstract

This degree work is oriented to the assembly 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 at the headquarters with respect to this type of energy, which They 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 Note that Colombia, due to its geographical position, is a privileged country for the development of this type of energy.

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

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

Tabla de contenido

Introducción	17
1. Fundamentación	18
1.1 El Problema	18
1.2 Justificación	18
1.3 Objeto	19
1.4 Objetivos	20
1.4.1 Objetivo general	20
1.4.2 Objetivos Específicos	20
1.5 Acotaciones	21
1.5.1 Alcance	21
1.5.2 Limitaciones	21
1.6 Legislación	22
1.6.1 Impacto ambiental	22
1.6.2 Marco internacional	23
1.6.3 Marco Nacional	24
1.6.4 Marco institucional	24

	10
1.6.5 Licenciamiento de Software	25
2. Argumentación	26
2.1 Antecedentes	26
2.1.1 Nivel internacional	26
2.1.2 Nivel Nacional	27
2.1.3 Nivel local	28
2.2 Marco Teórico	28
2.2.1 La Energía Solar	28
2.2.2 ¿Qué es la energía solar fotovoltaica?	29
2.2.2.1 Celda solar	29
2.2.3 Sistemas de una instalación fotovoltaica	31
2.2.3.1 Generador fotovoltaico	32
2.2.3.2 Batería	32
2.2.3.3 Regulador	32
2.2.3.4 Inversor	33
2.2.4 Factores de eficiencia de un panel fotovoltaico	33
2.2.4.1 Punto de máxima potencia	35
2.2.4.2 Eficiencia en la conversión de energía	36

	11
2.2.5 Factores que afectan el rendimiento de un panel fotovoltaico	37
2.2.5.1 Energía de la luz incidente	37
2.2.5.2 Reflexión	38
2.2.5.3 Efecto de la Sombra	38
2.2.5.4 Efecto de la orientación e inclinación	39
2.2.5.5 Efectos de la Temperatura	39
2.2.5.6 Suciedad y polvo	40
2.2.5.7 Pérdidas por acoplamiento y cableado	40
2.2.5.8 Pérdidas de conversión DC a AC	41
3. Metodología	42
3.1 Tipo De Investigación	42
3.2 Marco Estratégico Táctico	43
3.3 Plan De Trabajo	43
3.3.1 Etapa 1	43
3.3.2 Etapa 2	44
3.3.3 Etapa 3	45
4. Desarrollo Del Proyecto	46
4.1 Etapa 1	46
4.1.1 Tecnología Arduino Aplicada en el montaje para la medición de variables	47

	12
4.1.1.1 Estudio Hardware Arduino	47
4.1.1.2 Programación	53
4.1.2 Estudio de los Sensores de corriente y voltaje utilizados para el montaje	55
4.1.2.1 Sensor de Corriente	56
4.1.2.1.1 Verificación y prueba del sensor de Corriente ACS712ELCTR-30A-T	59
4.1.2.2 Sensor de voltaje DC FZ0430	61
4.1.2.2.1 Verificación y prueba del sensor voltaje DC FZ0430	63
4.1.2.3 Modulo Sensor de Voltaje Alterno AC ZMPT101B	65
4.1.2.3.1 Verificación y prueba del módulo Sensor de Voltaje Alterno AC ZMPT101B	67
4.1.2.4 Modulo interfaz de potencia relé de 4 canales	70
4.1.3 Hardware y el software utilizado para el proceso de toma de datos	71
4.1.3.1 Verificación y prueba del módulo interfaz de potencia relé de 4 canales	72
4.2 Etapa 2	75
4.2.1 Verificación del hardware y software utilizado para la adquisición de datos según el diseño establecido	75
4.2.1.1 Simulación del sistema de control y monitoreo	76
4.3 Etapa 3	82

	13
4.3.1 Diseño de la estructura del módulo de medición	82
4.3.2 Construcción del módulo de medición	82
4.3.2.1 Montaje del tablero	85
4.3.2.2 Prueba de los equipos de la instalación solar	87
4.3.2.3 Montaje del sistema eléctrico de acuerdo a los planos establecidos en el diseño	88
4.3.3 Validación de las mediciones del sistema	90
4.3.4 Practicas de laboratorio	91
4.4 Análisis Económico	93
4.5 Análisis De Impacto Ambiental	94
4.6 Glosario	95
5. Conclusiones	97
6. Recomendaciones	98
Referencias Bibliográficas	99
Anexos	100
Anexo 1. Guías	101
Anexo 2. Manual del Usuario	103

Lista de figuras

	Pág.
Figura 1. Celdas solares fotovoltaicas en conexión serie	31
Figura 2. Esquemas básicos de instalaciones fotovoltaicas	31
Figura 3. Circuito eléctrico equivalente de un diodo para la celda Fotovoltaica	34
Figura 4. Punto de Máxima Potencia	36
Figura 5. Efectos de los niveles de radiación sobre la corriente	38
Figura 6. Efectos de la temperatura sobre la generación de energía en un panel solar ³⁴	40
Figura 7. Hardware ARDUINO MEGA	48
Figura 8. Arduino MEGA 2560 Entradas y Salidas	48
Figura 9. Sketch o programa de Arduino	54
Figura 10. Sensor de Corriente DC/AC ACS712ELCTR-30A-T46	57
Figura 11. Conexión sensor ACS71247	58
Figura 12. Verificación y prueba del sensor de Corriente ACS712ELCTR-30A-T48	60
Figura 13. Programa visualización de la medida de corriente AC50	61
Figura 14. Divisor de voltaje ⁵¹	62
Figura 15. Verificación y prueba del sensor de voltaje DC FZ043052	63
Figura 16. Verificación de medición del sensor de voltaje DC FZ043053	65
Figura 17. Sensor de Voltaje Alterno AC ZMPT101B53	65
Figura 18. Verificación y prueba del sensor de voltaje AC ZMPT101B	68
Figura 19. Programa de prueba del sensor de Corriente ACS712ELCTR-30A-T	69
Figura 20. Interfaz de potencia	70
Figura 21. Verificación y prueba del módulo interfaz de potencia relé de 4 canales	73

Figura 22. Bastidor o soporte de los paneles solares	83
Figura 23. Estructura del módulo para el tablero de medición	83
Figura 24. Base de soporte para la estructura general del módulo	84
Figura 25. Ensamble de la estructura del módulo	85
Figura 26. Sistema a bloques y distribución de elementos en el tablero	85
Figura 27. Sistema de adquisición, visualización de datos y control	86
Figura 28. Pruebas de equipos para la instalación solar	87
Figura 29. Montaje del sistema de control y Medición	88
Figura 30. Instalación de generación de energía solar fotovoltaica	88
Figura 31. Circuito de control y carga	89
Figura 32. Esamble del sistema de protección y control eléctrico	89
Figura 33. Panel frontal	90
Figura 34. Pruebas de funcionamiento del equipo ensamblado	90
Figura 35. Módulo de mediciones de variables eléctricas	91
Figura 36. Realización de prácticas	91
Figura 37. Formato de las guías de laboratorio	92

Lista de Cuadros

	Pág.
Cuadro 1. Características de Hardware Arduino Mega	47
Cuadro 2. Funciones para programar, controlar y realizar cálculos en la placa Arduino	55
Cuadro 3. Características Sensor de Corriente ACS712ELCTR-30A-T	58
Cuadro 4. Características Sensor de Voltaje DC FZ0430	62
Cuadro 5. Características Sensor de Voltaje Alterno AC ZMPT101B	67
Cuadro 6. Especificaciones técnicas Interfaz de potencia	71
Cuadro 7. Elementos de medición y control	72
Cuadro 8. Presupuesto global del proyecto	93
Cuadro 9. Cotización de materiales y equipos para el proyecto	94

Introducción

El gobierno nacional después de enfrentar varios desastres naturales y estructurales de megaproyectos enfocados en generación de energía convencional toma la iniciativa de dar oportunidades principalmente a la energía eólica y solar.

Después de realizar una búsqueda bibliográfica sobre el tema central del proyecto de investigación, se concluye que no fueron hallados trabajos de grado y documentos 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 le ofrecen a las universidades. A nivel nacional la Universidad Nacional y otras han implementado proyectos de aplicación de energías renovables más no como laboratorios específicos de medición de variables eléctricas de las energías renovables.

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 el 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 en la actualidad de la demanda en el uso de la energía solar fotovoltaica a nivel mundial hace necesario formar Ingenieros, Tecnólogos que tengan la capacidad de tomar decisiones técnicas al momento de manipular este tipo de sistemas 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 alumnos y egresados de la Universidad Antonio Nariño sede Cúcuta.

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

1.2 Justificación

En la ciudad de Cúcuta ubicada en el departamento de Norte de Santander, geográficamente cuenta con los factores ambientales para la implementación de energías renovables por ejemplo

la energía solar fotovoltaica el cual es el adecuado para la zona donde se encuentra ubicada la ciudad por la cantidad de radiación solar que recibe. En consecuencia, la energía solar fotovoltaica logra brindar una solución instantánea a las necesidades de uso primario en las áreas de iluminación y los servicios de comunicación, reduciendo los grandes costos cuando se hace necesario realizar una expansión del sistema de red eléctrico.

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 los avances en energías limpias o renovables como lo es la generación de energía a través del sistema solar fotovoltaico.

A la vez que sea 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

Montar 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

Montar y puesta en funcionamiento 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.

1.4.2 Objetivos Específicos

Analizar el diseño del sistema de medición de variables eléctricas con tecnología Arduino, para las instalaciones de generación de energía solar fotovoltaica en la Universidad Antonio Nariño sede Cúcuta.

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

Ejecutar el montaje y puesta en funcionamiento del sistema de medición de variables eléctrica con tecnología Arduino para la Universidad Antonio Nariño Sede Cúcuta.

1.5 Acotaciones

Para el desarrollo de este trabajo 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 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.

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 industriales aplicada en la industria del petróleo, 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 es el conjunto de objetivos, principios, criterios y orientaciones generales se centran en la protección ambiental de una sociedad por ejemplo en Colombia la Red de Desarrollo Sostenible.

La legislación ambiental para el país de Colombia comienza su desarrollo a partir de la Convención de Estocolmo en el año 1972, sus principios se basaron 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 elaboradas a la protección del derecho colectivo y el medio ambiente, se afirma la legislación ambiental en Colombia surge a partir de 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 colombiano y las Naciones Unidas del el programa de encargado del desarrollo (PNUD) se ha elaborado un acuerdo básico para la cooperación el día 29 de mayo de 1974, bajo los términos del convenio se determinó la realización de un Proyecto financiado con recurso del Fondo para el Medio Ambiente Mundial (GEF) determinado “Mejoramiento de la Eficiencia Energética en Edificaciones Colombianas a través de sinergias entre Convenciones Ambientales”, la cual se encarga de la ejecución de la Unidad de Planeación Minero –Energética (UPME) del Ministerio de Minas y Energías de Colombia” .

Decreto Nacional 2857 de 1981 dicta las siguientes disposiciones: Los recursos naturales y demás elementos extraídos del medio ambiente deben ser utilizados en forma eficaz, para lograr su máximo uso 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 para los 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 Protection 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, se determina, que no se encontraron trabajos de grado, artículos de científicos o de revistas e incluidos informes de investigación, que logren hacer referencia específica a la actividad del proyecto. A continuación, se relacionan algunos, equipos similares al tema en estudio.

2.1.1 Nivel Internacional

Título: Módulo fotovoltaico para entrenamiento de alumnos del centro de desarrollo de energías renovables.
Universidad: Universidad Tecnológica de Tulancingo Centro de investigación en materiales avanzados - energías renovables: especialidad energía fotovoltaica
Autor: Jorge Luis Neri Trejo, Jorge Mateo Hernández, Germán Reséndiz López
Palabras claves: Traslación, Rotación, Día solar, Sistema Fotovoltáico.
Resumen: 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

Título: Diseño técnico y económico de un banco de prueba solar fotovoltaico para generación de energía eléctrica de forma aislada.
Universidad: Universidad del Atlántico, Barranquilla, Colombia
Autor: Yuranis Salas Reyes, Hismary Gómez Blanco, Marley Vanegas Chamorro, Guillermo Valencia Ochoa, Eunice Villicaña Ortíz
Palabras claves: Solar fotovoltaico; Sistema aislado; Radiación solar; Diseño técnico; Análisis económico.
Resumen: 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.

2.1.3 Nivel local

Título: Diseño e implementación de una estación didáctica para el entrenamiento en el manejo de energía solar fotovoltaica
Universidad: Universidad de Santander, Campus Cúcuta Facultad de Ingeniería de Sistemas.
Autor: Diego Fernando Matiz Mora, Jhon Wilson Macareno Carrillo
Palabras claves: 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

La energía proveniente de la radiación solar la cual es transformada mediante un proceso de

conversión de energía térmica o eléctrica, para darle uso en las diferentes actividades a nivel industrial y doméstico donde se requiere para la alimentación de equipos eléctricos. El más importante de los elementos primarios encargado de tomar la radiación solar y transformarla en energía útil es el panel solar, los cuales se encuentran de dos tipos: el primer tipo es el captador solar térmico y el segundo tipo es mediante celdas fotovoltaicas.

La energía solar es una de las fuentes inagotables de energía que está implementando mayor desarrollo en los últimos años y que brinda más expectativas para el futuro para 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 con menos potencial de irradiación solar tienen más instalaciones ubicadas en edificios y viviendas.

2.2.2 ¿Qué es la energía solar fotovoltaica?

La energía solar fotovoltaica se basa en el método para lograr la transformación de la radiación solar en energía eléctrica. Esto se consigue a base de las propiedades físicas de los materiales semiconductores como las células o celdas solares fotovoltaicas.

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

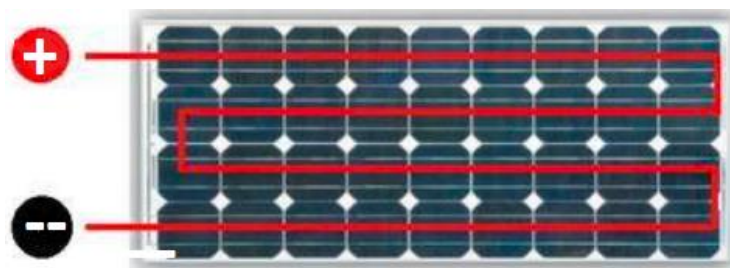
como material base para su fabricación el silicio, que es un semiconductor que al ser dopado con otro material como el fosforo genera inestabilidad eléctrica produciendo movimiento de electrones cuando es excitado.

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 es relativamente costoso económicamente y tiempo. Aunque el material de silicio del cual están fabricadas es uno de los más abundantes del planeta Tierra, su procesamiento es riguroso y difícil. Se requieren procesos especializados para lograr elaborar lingotes de silicio, lo cual en su procesamiento posteriormente se cortan delgadas obleas o celdas, por el cual resulta todavía un producto de grandes costos. Para lograr una pequeña reducción se habla del reciclado de silicio a partir de la industria en electrónica, esto logra servir como materia prima para producir el silicio de grado solar.

Es de mucha importancia que las células que componen un panel solar fotovoltaico contengan las mismas características físicas y químicas, para lo cual se realiza un proceso de selección y clasificación. 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

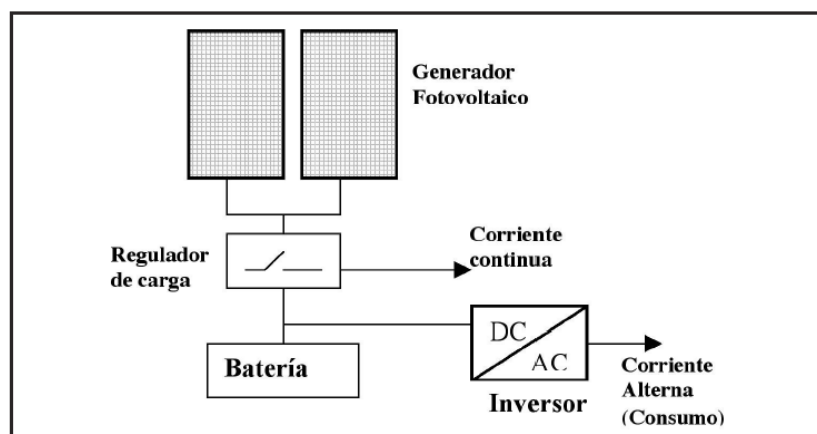


Fuente: <https://atersa.shop/como-orientar-paneles-solares/>.

2.2.3 Sistemas de una instalación fotovoltaica

La configuración básica de las instalaciones aisladas de la red eléctrica está constituida por uno o más generadores fotovoltaicos, un regulador o controlador de carga y una o varias baterías. (Véase la Figura 2).

Figura 2. Esquemas básicos de instalaciones fotovoltaicas



Fuente: Autor del proyecto.

2.2.3.1 Generador fotovoltaico

Es el elemento encargado de realizar la transformación de la energía solar en energía eléctrica, en este proceso se basa en tomar la luz proveniente del sol o más específico partículas llamadas fotones las cuales son convertidos a energía eléctrica y se conoce como efecto de transformación fotovoltaica; esto ocurre debido a que el silicio del cual se compone la célula fotovoltaica tiene la propiedad que fue explicada por el físico alemán Albert Einstein en la teoría del efecto fotoeléctrico.

2.2.3.2 Batería

La batería es el dispositivo que se encarga de acumular la energía entregada por los paneles después de pasar por la etapa de regulación durante las horas de mayor radiación para compensar las horas de baja o nula radiación solar.

2.2.3.3 Regulador

El regulador de carga o controlador es el encargado de realizar el control y seguridad de la carga a la batería, evitando las sobrecargas o descargas excesivas que perjudiquen la vida útil de la batería, esta configuración trabaja en corriente continua.

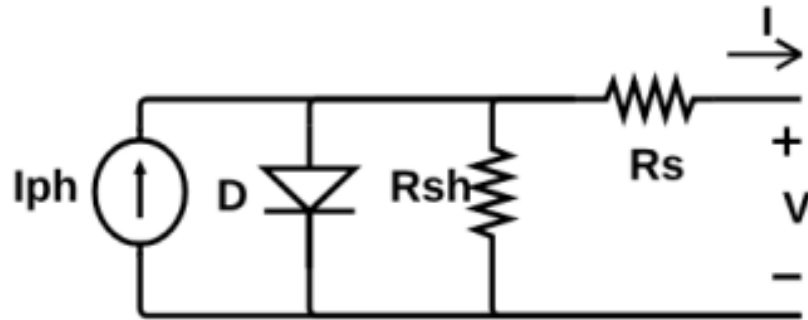
2.2.3.4 Inversor

El inversor es el elemento encargado de realizar la transformación de corriente continua (DC) en corriente alterna (AC) de las mismas características de la red eléctrica ya sea industrial o residencial. Existen diferentes tipos de inversores, pero se seleccionan en función de la necesidad de la instalación a realizar.

2.2.4 Factores de eficiencia de un panel fotovoltaico

Para entender su funcionamiento, es necesario conocer el modelo matemático que describe la respuesta eléctrica del panel solar frente a dos condiciones, primero se encuentra la temperatura en la superficie del panel (en °C) y segunda es la irradiación solar incidente (en W/m²). 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, ya que esto reduce la complejidad en las ecuaciones matemáticas mientras logra mantener una descripción aceptable. Por tanto el modelo se selecciona para esta investigación ya que tiene cualidades suficientes para alcanzar el objetivo general. El circuito eléctrico de la celda solar se muestra en la Fig. 3.

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:

$$I = I_{ph} - \left[\exp\left(\frac{V+IR_S}{N_S V_1}\right) - 1 \right] - \frac{V+IR_S}{R_{SH}}$$

Dónde:

I es la corriente que va a tener el módulo fotovoltaico a su salida.

I_{ph} es la corriente que se genera debido a la irradiación solar.

I_0 es la corriente de saturación inversa del diodo.

V es el voltaje a la salida del módulo.

R_s es la resistencia en serie.

N_s es el número de celdas en serie por modulo solar fotovoltaico.

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 diodo ideal.

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 condiciones estándar (STD) de 1kW/m^2 .

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

k_i es el coeficiente de temperatura para el paso de 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°K .

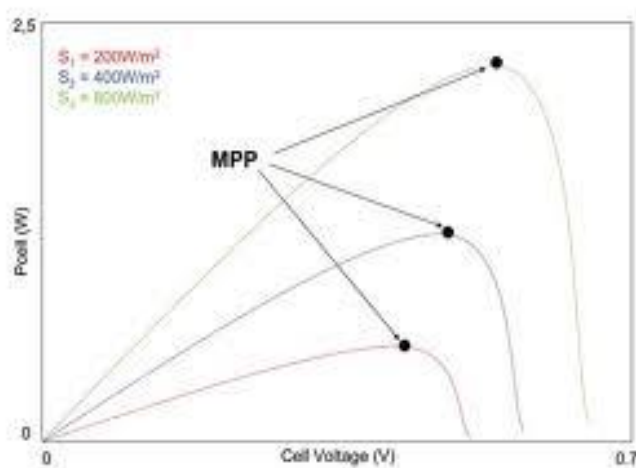
E_g es la energía de banda.

2.2.4.1 Punto de máxima potencia

Corresponde a la máxima potencia que logra el panel generar, la cual se da cuando el voltaje y la corriente alcanzan sus valores máximos de manera simultánea.

El punto de potencia máxima de un dispositivo fotovoltaico depende de la incidencia lumínica. Para sistemas que requieren grandes magnitudes eléctricas esto genera un aumento en los costos con la inserción de dispositivos que midan la potencia instantánea por medida continua del voltaje y la intensidad de corriente, esta información se usa para realizar el ajuste de modo dinámico en tiempo real.

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 de un panel fotovoltaico corresponde al valor de la energía eléctrica generada respecto a la energía luminosa recibida por el sol, cuando el panel se encuentra conectado a un circuito eléctrico.

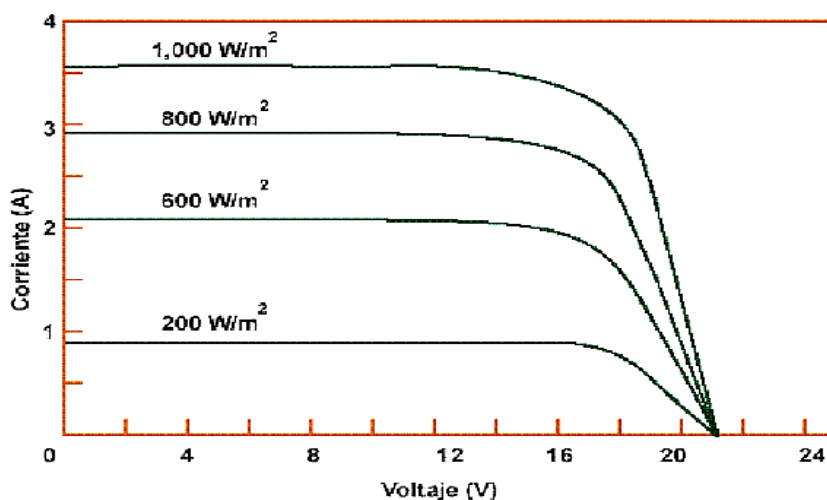
2.2.5 Factores que afectan el rendimiento de un panel fotovoltaico

Aquí diferentes factores que afectan el rendimiento de un panel solar en cuanto a la capacidad máxima de generación, a continuación se describe cada uno de ellos.

2.2.5.1 Energía de la luz incidente

Para producir el movimiento necesario de electrones y generar flujo de corriente, es inevitable que el nivel de radiación que incide sobre el panel tenga una cantidad de energía entre ciertos límites ya que la luz que incide tiene diferentes longitudes de onda, al estar cerca al 50% de la radiación, está no logra estar dentro del margen aceptado para el funcionamiento óptimo de los paneles solares que se encuentra en el comercio. Cuando la corriente es proporcional a la radiación incidente en los paneles solares y es aceptada por el, por ejemplo 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 se producen en la parte superficial del panel, debido a la reflexión de los rayos incidentes, para lograr disminuir las pérdidas cuando se realiza el proceso de producción o fabricación se utilizan unas capas de antirreflejo y algunas superficies rugosas.

2.2.5.3 Efecto de la Sombra

El efecto de sombras sobre los paneles solares, logra afectar considerablemente el rendimiento; por esto se debe tener muy en cuenta cuando se está diseñando la instalación fotovoltaica situar los paneles en lugares estratégicos donde no tengan todo este tipo de

interferencias en lo máximo posible.

Cuando los paneles están conectados en serie este efecto es muy notorio ya que si un panel es sombreado y no logra generar los mismos niveles de energía que los demás paneles que se encuentran descubiertos esto genera que consuma energía en vez de ser generarla.

2.2.5.4 Efecto de la orientación e inclinación

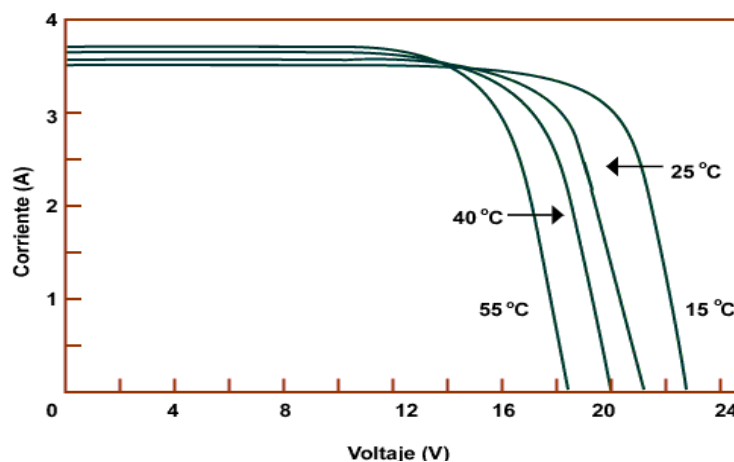
Los paneles solares trabajarán en forma óptima cuando su orientación se encuentre directa al sol, esto quiere decir cuando el panel este situado perpendicularmente hacia el sol. En las instalaciones fijas no es posible el lograr mantener el panel perpendicular al sol por este motivo cuando se realiza el diseño del sistema de debe garantizar que se aprovecha la mayor cantidad de tiempo de luz posible y en los períodos en los que la radiación solar es mayor. Para las instalaciones con sistema de seguimiento automatizado, esto no presenta mayor problema ya que el panel tiende a mantener la orientación en dirección de incidencia del sol.

2.2.5.5 Efectos de la Temperatura

El parámetro de la temperatura afecta directamente al panel fotovoltaico, al aumentar la temperatura la corriente también tiende a aumentar pero el voltaje entregado por el panel decae considerablemente, lo que provoca una reducción de la potencia que entrega el panel, en cambio, cuando la temperatura baja el voltaje aumenta, pero el flujo de corriente disminuye, aumentando en una fracción el nivel de potencia entregado por el panel, se estima que la potencia nominal se

reduce aproximadamente un 0.5% por cada grado por encima de los 25 °C. Esto se puede visualizar 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

El polvo y la suciedad que se acumula en la superficie del módulo solar y logra bloquear la luz solar y dependiendo de la frecuencia de las lluvias del lugar se lograra limpiar regularmente. Un factor típico de reducción es del 93 % 0 0,93 %. Así, un módulo por ejemplo de 100 vatios operando con polvo acumulado lograra trabajar a 79 w.

2.2.5.7 Pérdidas por acoplamiento y cableado

La máxima energía que suministra el panel fotovoltaico es la suma de la salida máxima de

cada uno de los módulos individuales. Esta diferencia es el resultado de ciertas inconsistencias en el rendimiento del módulo a esto llamado desacoplamiento y origina una pérdida de energía aproximado del 2% en el sistema. También se logra perder por la resistencia en el cableado del sistema. Estas pérdidas deben mantenerse al mínimo y tenerlo muy en cuenta en el diseño mediante aplicación de procedimientos adecuados para tratar de lograr reducirlo al 3%.

2.2.5.8 Pérdidas de conversión DC a AC.

La conversión de energía DC/AC genera pérdidas ya algunos fabricantes hablan de eficiencias pico de aproximadamente del 92-94 %, pero en inversores nuevos en condiciones controladas. Mientras que en la práctica es común el encontrar un aproximado del 88 %, aunque ya en uso y dependiendo de las características de los inversores estos pueden generar conversiones de una eficiencia de hasta el 80 % en muchos casos. En los cálculos La suele utilizarse la aproximación al 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

Análisis del diseño del sistema de medición de variables eléctricas con tecnología Arduino, para las 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:

Realizar un estudio de la tecnología arduino y sus aplicaciones utilizadas en el diseño para la medición de variables eléctricas.

Verificar el hardware y el software a utilizar para el proceso de toma de datos según el diseño.

Estudiar los sensores seleccionados en el diseño para su utilización en la adquisición de datos de las variables eléctricas a medir.

3.3.2 Etapa 2

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

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

Verificar los cálculos de diseño del sistema de medición de variables eléctricas en instalaciones de energía solar fotovoltaica ejecutando el programa.

Chequear el software utilizado para la medición de las variables eléctricas y su visualización.

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

3.3.3 Etapa 3

Ejecutar el montaje y puesta en marcha del sistema de medición de variables eléctricas con tecnología Arduino, en instalaciones de generación de energía solar fotovoltaica de acuerdo al diseño establecido.

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

Construir el sistema de medición de variables eléctricas en instalaciones de energía solar fotovoltaica.

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

4. Desarrollo del Proyecto

4.1 Etapa 1

Análisis del diseño del sistema de medición de variables eléctricas con tecnología Arduino, para las 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:

Realizar un estudio de la tecnología arduino y sus aplicaciones utilizadas en el diseño para la medición de variables eléctricas.

Verificar el hardware y el software a utilizar para el proceso de toma de datos según el diseño.

Estudiar los sensores seleccionados en el diseño para su utilización en la adquisición de datos de las variables eléctricas a medir.

4.1.1 Tecnología Arduino Aplicada en el montaje para la medición de variables

La tecnología de los sistemas embebidos se soporta en la integración de Hardware y Software específicamente en la programación de un microcontrolador que es una tarea específica de la ingeniería electrónica, el desarrollo de la tecnología arduino como tal se proyectó con el fin de proporcionar un entorno de fácil acceso a su programación; que consiste en llevar a líneas de código las tareas que se quieren automatizar en un proceso mediante la lectura de datos por medio de sensores en tiempo real y en función de las condiciones del entorno programar la iteración con el mundo exterior a través de actuadores.

El sistema Arduino proporciona un entorno de programación muy sencillo y potente en cuanto a su programación, incluyendo las herramientas para la compilación de los programas y luego grabarlo en la memoria flash del microcontrolador. El software Arduino IDE permite la gestión de librerías y placas de manera muy práctico.

4.1.1.1 Estudio Hardware Arduino

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

Está formado por:

54 entradas/salidas digitales; 15 pueden usar como salidas PWM.

16 entradas analógicas.

4 UARTs.

Un cristal de 16Mhz, conexión USB.

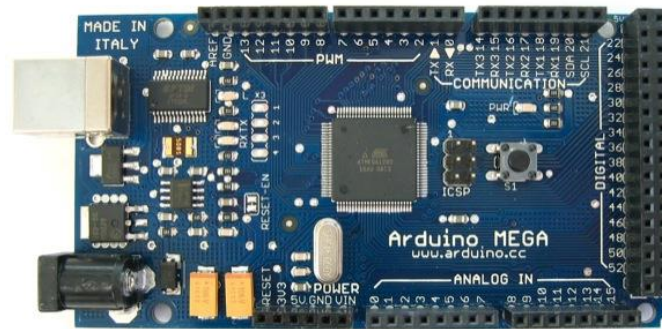
Jack para fuente DC.

Conector ICSP.

Botón de reseteo.

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	ATmega 2560
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:

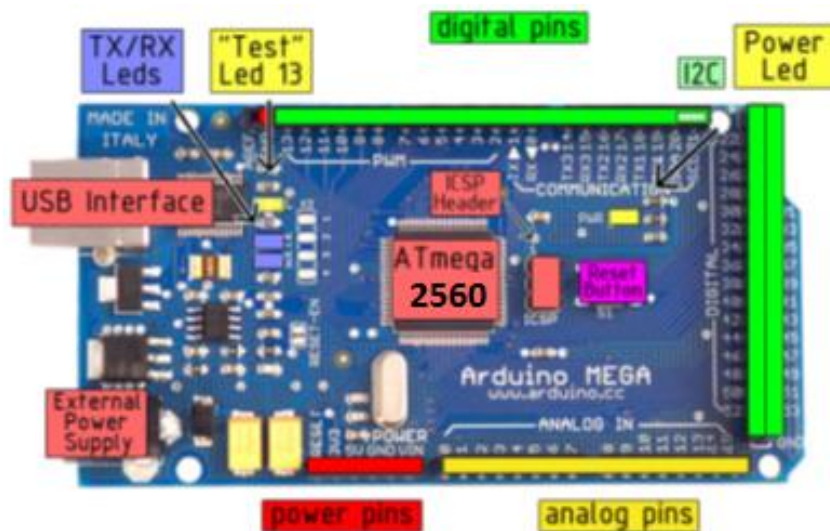
4KB son usados para el inicio del sistema, 8 KB de memoria SRAM y 4KB de EEPROM esta

última permite leer o escribir con la librería EEPROM.

Entradas y Salidas. Tiene 54 pines digitales y se puede variar entre entradas o salidas según la programación necesaria:

Las E/S trabajan a 5 voltios DC. Cada pin tiene una capacidad de corriente máxima de 40mA ya sea de entrada o salida y posee una resistencia interna la cual es desconectada por defecto de 20-50 kOhms, otros pines tienen unas funciones especiales.

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).

En estos pines de conexión se puede modificar su instrucción para pedir una interrupción con un valor LOW de 0Vdc, en flancos de subida o bajada, el valor de estos cambios son de 0Vdc a 5Vdc.

PWM: De 0 a 13. Proporciona una salida Pulse Wave Modulación o modulación de onda por pulsos de 8 bits con una resolución de valores de 0 hasta 255 por medio de la función analog Write.

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

Entradas analógicas. El Arduino Mega cuenta con 16 entradas analógicas, cada una con resolución de 10bits con conversión digital de 1024 valores y se miden de GND a 5 voltios.

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 el comando 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.

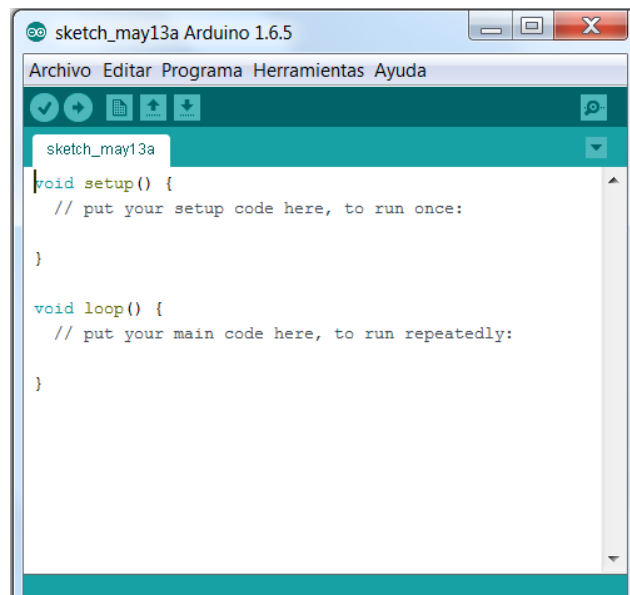
4.1.1.2 Programación

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.

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 Arduino 1.6.5
Archivo Editar Programa Herramientas Ayuda
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 ()	delay () delayMicroseconds () micros () mills ()
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 utilizados para el montaje

Se estudiaron los sensores de voltaje y corriente compatibles con la familia Arduino seleccionados de acuerdo al diseño establecido.

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

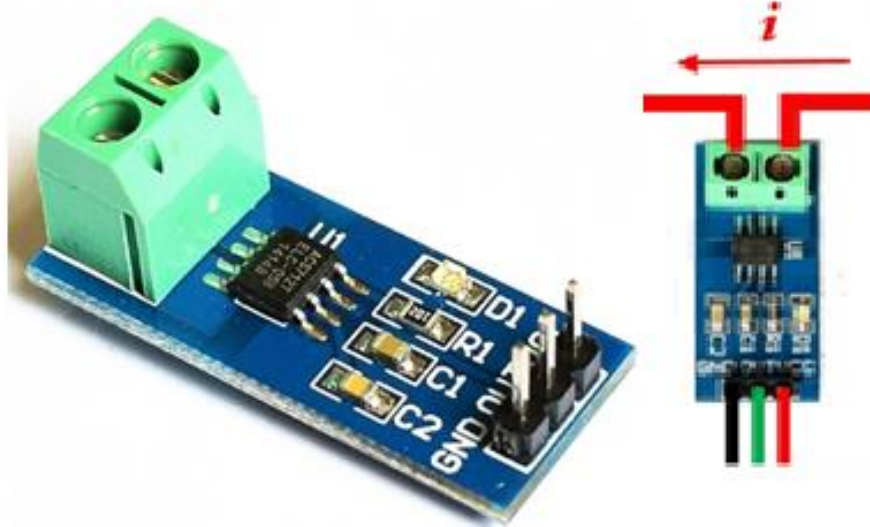
El Sensor de Corriente ACS712ELCTR-30A-T tiene la capacidad de medir corriente DC o AC utilizando un sensor de efecto Hall, este se encuentra internamente y detecta el campo magnético que se produce por inducción de la corriente que se está midiendo. EL sensor entrega una salida de voltaje proporcional 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

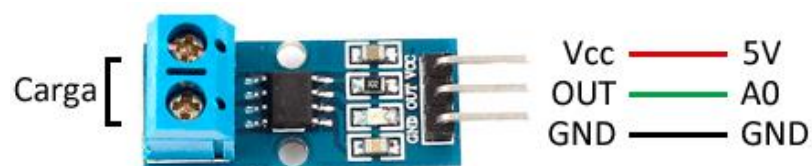
Figura 10. Sensor de Corriente DC/AC ACS712ELCTR-30A-T



Fuente: <https://naylampmechatronics.com/sensores-corriente-voltaje/443-sensor-de-corriente-dc-ac-100^a-ACS-30A712.html>.

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

Figura 11. Conexión sensor ACS712



Fuente: <https://www.luisllamas.es/arduino-intensidad-consumo-electrico-ac712/>

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

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

Fuente: Autor

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

Esta relación es una línea recta al observarla en una gráfica donde encontramos el Voltaje vs Corriente, 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.

Si se despeja I se obtiene la ecuación para hallar la corriente de acuerdo a la lectura del sensor.

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

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

4.1.2.1.1 Verificación y prueba del sensor de Corriente ACS712ELCTR-30A-T

Se realizó la verificación del sensor mediante un programa de prueba y un circuito en protoboard. Se alimentó un circuito de 2 resistencias en serie de 1 kohmio cada una se aplicó un Vac de 9 voltios y se midió la corriente en serie como se muestra en la figura.

Figura 12. Verificación y prueba del sensor de Corriente ACS712ELCTR-30A-T



Se corrió el programa de prueba y se tomaron pantallazos de las mediciones.

```
float Sensibilidad=0.185; //sensibilidad en Voltios/Amperio para sensor de 30
A
void setup() {
    Serial.begin(9600);
}
void loop() {
    float I=get_corriente(200);//obtenemos la corriente promedio de 500 muestras
    Serial.print("Corriente: ");
    Serial.println(I,3);
    delay(100);
}
float get_corriente(int n_muestras)
{
    float voltajeSensor;
    float corriente=0;
    for(int i=0;i<n_muestras;i++)
    {
        voltajeSensor = analogRead(A0) * (5.0 / 1023.0);////lectura del sensor
```

Figura 13. Programa visualización de la medida de corriente AC

The screenshot shows the Arduino IDE interface. The main window displays the following C++ code:

```

float I=get_corriente(200);//obtenemos la corriente promedio de 500 muestras
Serial.print("Corriente: ");
Serial.println(I,3);
delay(100);
}

float get_corriente(int n_muestras)
{
float voltajeSensor;
float corriente=0;
for(int i=0;i<n_muestras;i++)
{
voltajeSensor = analogRead(A0) * (5.0 / 1023.0);////lectura del sensor
corriente=corriente+(voltajeSensor-2.5)/Sensibilidad; //Ecuación para obtener la
}
corriente=corriente/n_muestras;
return(corriente);
}

```

The serial monitor window (COM27) displays the following output:

```

Corriente: -0.032
Corriente: -0.031
Corriente: -0.033
Corriente: -0.029
Corriente: -0.029
Corriente: -0.033
Corriente: -0.031
Corriente: -0.032
Corriente: -0.030
Corriente: -0.034
Corriente: -0.032
Corriente: -0.033
Corriente: -0.031
Corriente: -0.034
Corriente: -0.030
Corriente: -0.032
Corriente: -0.033
Corriente: -0.035
Corriente: -0.031
Corriente: -0.034
Corriente: -0.031
Corriente: -0.031
Corriente: -0.031
Corriente: -0.032
Corriente: -0.031
Corriente: -0.029
Corriente: -0.033
Corriente: -0.032

```

Fuente: Autor

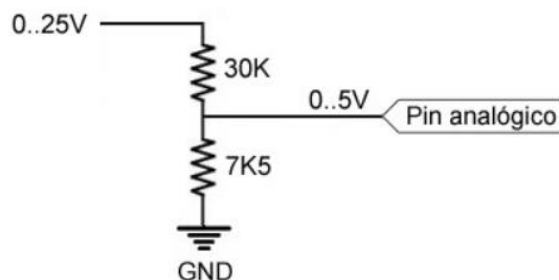
4.1.2.2 Sensor de voltaje DC FZ0430

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
$$V_{out} = \frac{5 \cdot 7.5}{30 \cdot 7.5}$$

De acuerdo al circuito de la figura 14.

Figura 14. Divisor de voltaje



Fuente: Autor

Cuadro 4. Características Sensor de Voltaje DC FZ0430

Sensor FZ0430 Voltaje DC	
Rango de entrada de voltaje	0v a 25v DC.
Voltaje detección entrada máximo.	25v (5v x 5 = 25v) o 16,5v (3,3v x 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 x 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

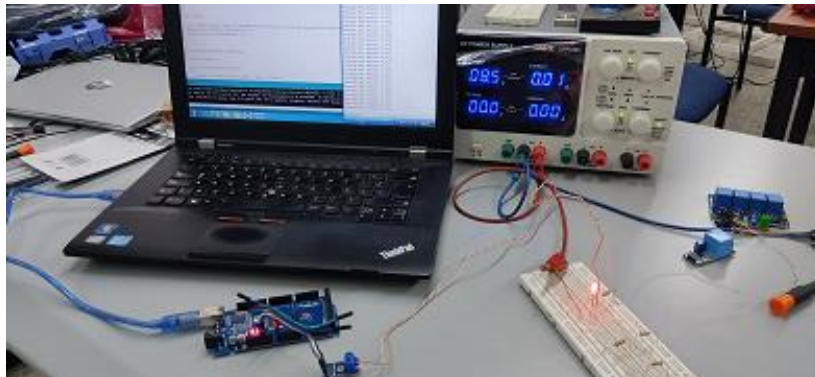
circuito analógico del Arduino. La resolución de la medición del módulo es de 24,45mV.

4.1.2.2.1 Verificación y prueba del sensor voltaje DC

FZ0430

Se realizó la verificación del sensor mediante un programa de prueba en protoboard.

Figura 15. Verificación y prueba del sensor de voltaje DC FZ0430

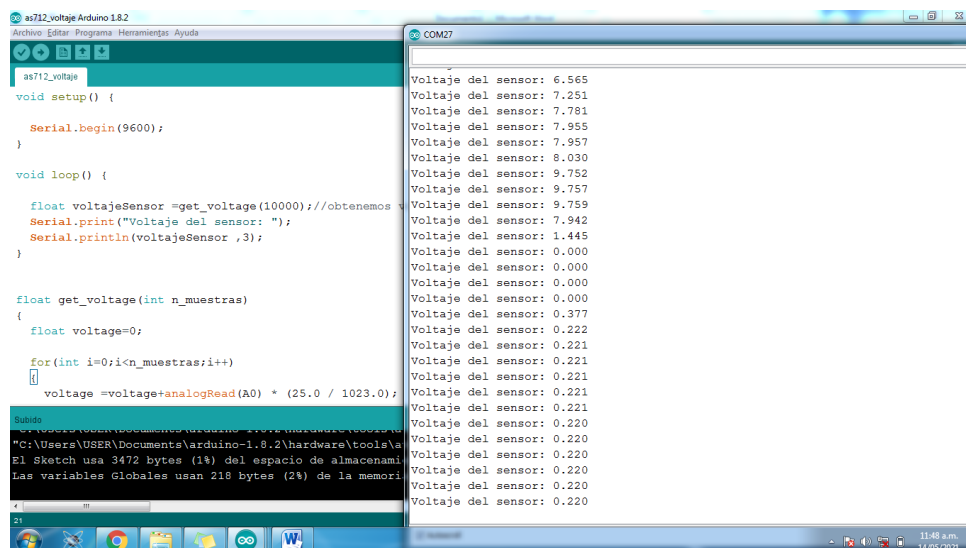


Fuente: Autor

Programa de verificación y prueba del sensor de voltaje DC FZ0430.

```
void setup() {  
  
    Serial.begin(9600);  
  
}  
  
void loop() {  
  
    float voltajeSensor =get_voltage(10000);//obtenemos voltaje del sensor(10000 muestras)  
  
    Serial.print("Voltaje del sensor: ");  
  
    Serial.println(voltajeSensor ,3);  
  
}  
  
float get_voltage(int n_muestras)  
  
{  
  
    float voltage=0;  
  
    for(int i=0;i<n_muestras;i++)  
  
    {  
  
        voltage =voltage+analogRead(A0) * (250.0 / 1023.0);  
  
    }  
  
    voltage=voltage/n_muestras;  
  
    return(voltage);  
  
}
```


Figura 16. Verificación de medición del sensor de voltaje DC FZ0430



```

as712_voltaje Arduino 1.8.2
Archivo Editar Programa Herramientas Ayuda
as712_voltaje
void setup() {
  Serial.begin(9600);
}
void loop() {
  float voltajeSensor =get_voltage(10000);//obtenemos
  Serial.print("Voltaje del sensor: ");
  Serial.println(voltajeSensor ,3);
}
float get_voltage(int n_muestras)
{
  float voltage=0;
  for(int i=0;i<n_muestras;i++)
  {
    voltage +=analogRead(A0) * (25.0 / 1023.0);
  }
}
Subido
C:\Users\USER\Documents\arduino-1.8.2\hardware\tools\avr\bin\avrdude.exe -c usb-lpc1114 -p /dev/ttyCOM27 -P COM27 -U flash:w:as712_voltaje.ino:
El Sketch usa 3472 bytes (1%) del espacio de almacenamiento.
Las variables Globales usan 218 bytes (2%) de la memoria.
11:48 a.m.
14/05/2021
  
```

Serial output (COM27):

```

Voltaje del sensor: 6.565
Voltaje del sensor: 7.251
Voltaje del sensor: 7.781
Voltaje del sensor: 7.955
Voltaje del sensor: 7.957
Voltaje del sensor: 8.030
Voltaje del sensor: 9.752
Voltaje del sensor: 9.757
Voltaje del sensor: 9.759
Voltaje del sensor: 7.942
Voltaje del sensor: 1.445
Voltaje del sensor: 0.000
Voltaje del sensor: 0.000
Voltaje del sensor: 0.000
Voltaje del sensor: 0.000
Voltaje del sensor: 0.377
Voltaje del sensor: 0.222
Voltaje del sensor: 0.221
Voltaje del sensor: 0.221
Voltaje del sensor: 0.221
Voltaje del sensor: 0.221
Voltaje del sensor: 0.221
Voltaje del sensor: 0.220
Voltaje del sensor: 0.220
Voltaje del sensor: 0.220
Voltaje del sensor: 0.220
Voltaje del sensor: 0.220
Voltaje del sensor: 0.220
  
```

Fuente Autor

4.1.2.3 Módulo Sensor de Voltaje Alterno AC

ZMPT101B

Figura 17. Sensor de Voltaje Alterno AC ZMPT101B



Fuente: <https://cdn.shopify.com/s/files/1/2267/1961/products/ModuloSensordeVoltajeAlternoAC>

ZMPT101BmonofasicoparaArduino_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 análoga 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

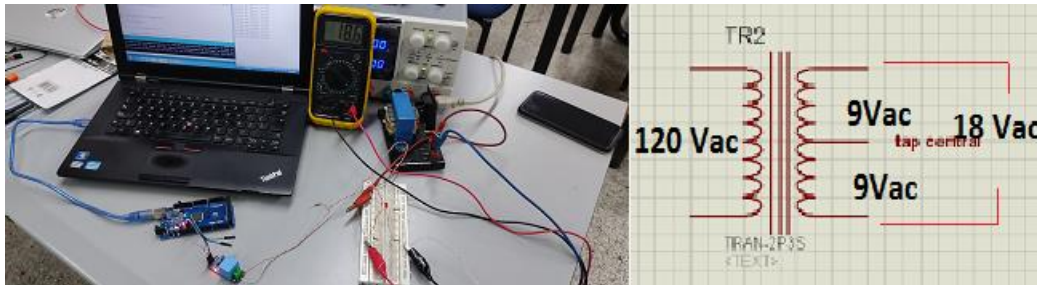
Voltaje de alimentación	3.3V ~ 5V DC
Señal de salida	Analoga Senoidal 5VAC MAX
Propiedades del transformador	
Corriente nominal de entrada y salida	2mA
Voltaje máximo de medición	250VAC
Ratio en entrada salida 1000:	1000
Diferencia de fase	< 30° (50 Ω)
Rango lineal	0 ~ 3mA (50 Ω)
Linealidad	1%
Precisión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

Fuente: Autor

4.1.2.3.1 Verificación y prueba del módulo Sensor de Voltaje Alterno AC ZMPT101B

Se realizó la verificación del sensor mediante un programa de prueba en protoboard. El programa de prueba se estableció tomando como fuente de voltaje un transformador de 120 Vac a 18 voltios en el secundario con Tap central, se realizaron medidas utilizando un circuito divisor de voltaje que se alimentó con 18 Vac y V vac desde el secundario del transformador como se observa en la figura 18.

Figura 18. Verificación y prueba del sensor de voltaje AC ZMPT101B



Fuente: Autor

Se probó el programa establecido para la medición de Voltaje de corriente alterna.

```
void setup() {
  Serial.begin(9600);
}
void loop() {
  float voltajeSensor =get_voltage(10000);//obtenemos voltaje del sensor(10000 muestras)
  Serial.print("Voltaje del sensor: ");
  Serial.println(voltajeSensor ,3);
}
float get_voltage(int n_muestras)
{
  float voltage=0;
  for(int i=0;i<n_muestras;i++)
  {
```

```

    voltage =voltage+analogRead(A0) * (250.0 / 1023.0);

}

voltage=voltage/n_muestras;

return(voltage);

}

```

Figura 19. Programa de prueba del sensor de Corriente ACS712ELCTR-30A-T

The screenshot displays the Arduino IDE interface. The main window shows the code for the 'as712_voltaje' sketch. The code includes a setup function to initialize the serial port at 9600 baud, and a loop function that calls a custom function 'get_voltage' with 10000 samples. The 'get_voltage' function calculates the average voltage from 10000 samples using the formula: $\text{voltage} = \text{voltage} + \text{analogRead}(A0) * (38.0 / 1023.0)$. The serial monitor on the right shows the output of the program, which is 'Voltaje del sensor: 18.948' repeated 20 times.

```

as712_voltaje Arduino 1.8.2
Archivo Editar Programa Herramientas Ayuda
as712_voltaje
void setup() {
    Serial.begin(9600);
}
void loop() {
    float voltajeSensor =get_voltage(10000);//obtenemos voltaje del sensor(10000 muestras)
    Serial.print("Voltaje del sensor: ");
    Serial.println(voltajeSensor ,3);
}
float get_voltage(int n_muestras)
{
    float voltage=0;
    for(int i=0;i<n_muestras;i++)
    {
        voltage =voltage+analogRead(A0) * (38.0 / 1023.0);
    }
}
Subido
"C:\Users\USER\Documents\arduino-1.8.2\hardware\tools\avr\bin\avr-objcopy" -O ihex -R
El Sketch usa 3472 bytes (1%) del espacio de almacenamiento de programa. El máximo es
Las variables Globales usan 218 bytes (2%) de la memoria dinámica, dejando 7974 bytes
20
11:59 a.m.
14/05/2021

```

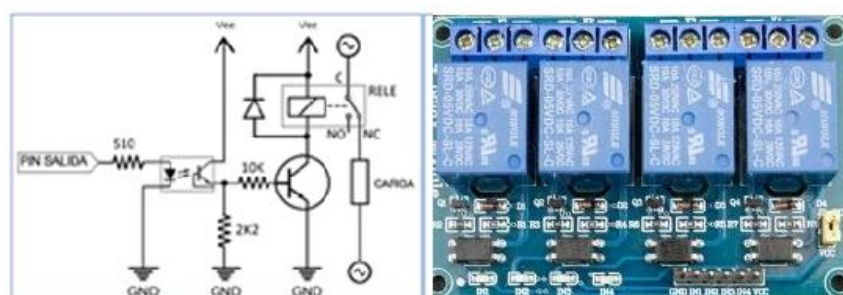
Fuente: Autor

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 20. Interfaz de potencia



Cuadro 6. Especificaciones técnicas Interfaz de potencia

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

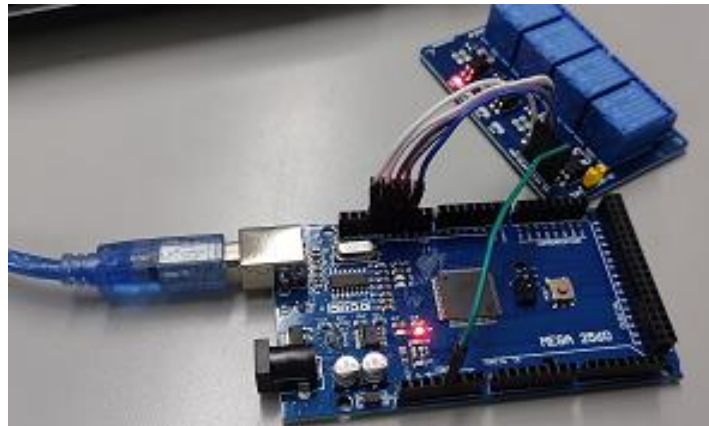
DISPOSITIVO	VARIABLE	ACCION
sensor de voltaje AC zmpt101b	voltaje AC	NA
sensor de voltaje DC FZ0430	voltaje DC	NA
sensor de corriente 1 ACS712	Corriente AC	NA
sensor de corriente 2 ACS712	Corriente DC	NA
Interface de 4 Relé	NA	Interface
Arduino MEGA 2560	NA	Control del sistema
Interruptores	NA	Control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

Fuente: Autor

4.1.3.1 Verificación y prueba del módulo interfaz de potencia relé de 4 canales

Se realizó la verificación del módulo mediante un programa de prueba en protoboard. Se energizo y activaron los relés desde el arduino sin conectar carga.

Figura 21. Verificación y prueba del módulo interfaz de potencia relé de 4 canales



Fuente Autor

Programa de prueba para a tarjeta de potencia

```
int t = 1000;  
  
//int t2= 500;  
  
//int t3= 300;  
  
//int t4= 400;  
  
// int t5= 200;  
  
void setup() {  
  
  // put your setup code here, to run once:  
  
  
  pinMode(led1, OUTPUT);  
  
  //pinMode(led2, OUTPUT);  
  
  //pinMode(led3,OUTPUT);
```

Crear recu

```
}  
  
void loop() {  
  
    // put your main code here, to run repeatedly:  
  
    digitalWrite(led1, HIGH);  
  
    delay(t);  
  
    digitalWrite(led1, LOW);  
  
    delay (t);  
  
    digitalWrite(led2, HIGH);  
  
    delay(t);  
  
    digitalWrite(led2, LOW);  
  
    digitalWrite(led3, HIGH);  
  
    delay(t);  
  
    digitalWrite(led3, LOW);  
  
    delay (t);  
  
    digitalWrite(led4, HIGH);  
  
    delay(t);  
  
    digitalWrite(led4, LOW);  
  
    delay (t);  
  
}
```

4.2 Etapa 2

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

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

Verificar los cálculos de diseño del sistema de medición de variables eléctricas en instalaciones de energía solar fotovoltaica ejecutando el programa.

Chequear el software utilizado para la medición de las variables eléctricas y su visualización.

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

4.2.1 Verificación del hardware y software utilizado para la adquisición de datos según el diseño establecido

Para la verificación del hardware y software se utilizó el software proteus para realizar la simulación del mismo.

4.2.1.1 Simulación del sistema de control y monitoreo

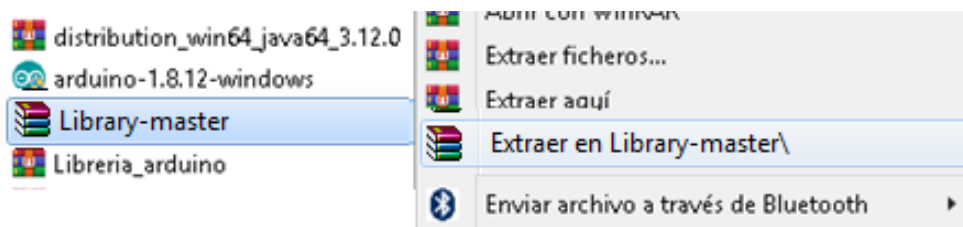
Para realizar la comprobación del funcionamiento del programa con la lectura de los valores de los sensores se realizó una simulación en la herramienta proteus para la cual se debe realizar la configuración de unas herramientas para poder utilizar algunos componentes.

Instalación de librerías de arduino en proteus

Descargamos las librerías de arduino para proteus del enlace:

https://mega.nz/file/IQ5kUZpI#JUYzovut5ehJ8vev0VzEnb48cgr5ipdMr2yp_uNZA-8

Extraemos los archivos en una carpeta

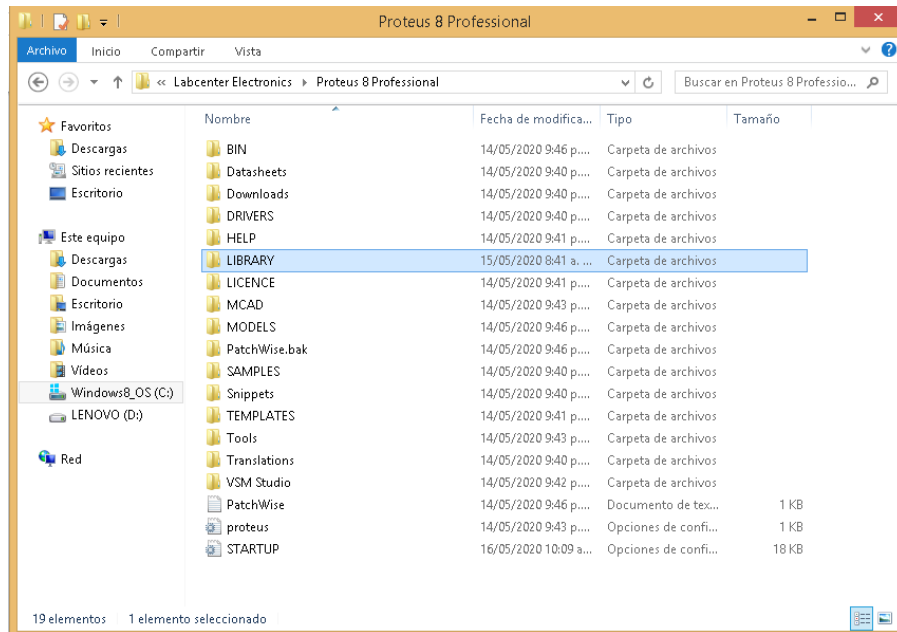


Copiamos los archivos que fueron extraídos.

BLOGEMBARCADO.LIB	140.601	19.668	Archivo LIB	23/07/2014 0
README.txt	1.081	339	Documento de texto	23/07/2014 0
UltraSonicSensor.HEX	1.036	434	Archivo HEX	23/07/2014 0

Ingresamos a la carpeta de instalación de proteus normalmente se encuentra en disco C:\

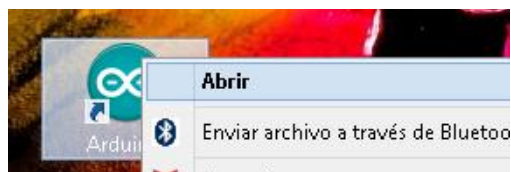
(Program Files o Program Files x86)\Labcenter Electronics\Proteus 8 Professional y abrimos la carpeta Library.



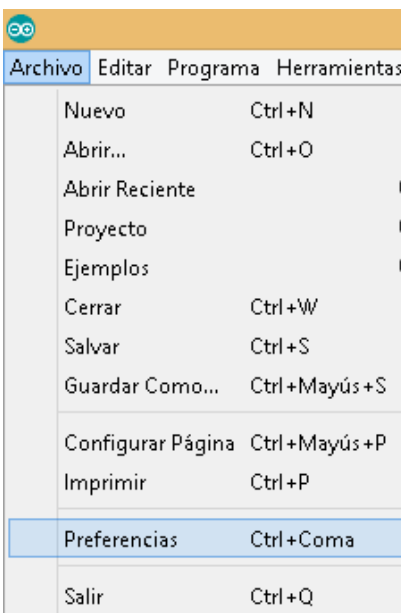
Pegamos los archivos en la carpeta de “LIBRARY”.

Barregraph_10_Leds_01_Yellow	17/03/2007 11:03 a...	Modelo de 3D Stu...	37 KB
BIPOLAR.IDX	07/06/2018 06:21 a...	Archivo IDX	16 KB
BIPOLAR.LIB	07/08/2017 08:59 a...	Archivo LIB	184 KB
BLOGEMBARCADO.IDX	07/06/2018 06:21 a...	Archivo IDX	1 KB
BLOGEMBARCADO.LIB	23/07/2014 03:53 a...	Archivo LIB	138 KB
BluetoothTEP.IDX	29/05/2019 10:19 a...	Archivo IDX	1 KB
BluetoothTEP.LIB	02/03/2016 08:12 a...	Archivo LIB	25 KB
Bornier 2	22/12/2009 08:37 ...	Modelo de 3D Stu...	269 KB

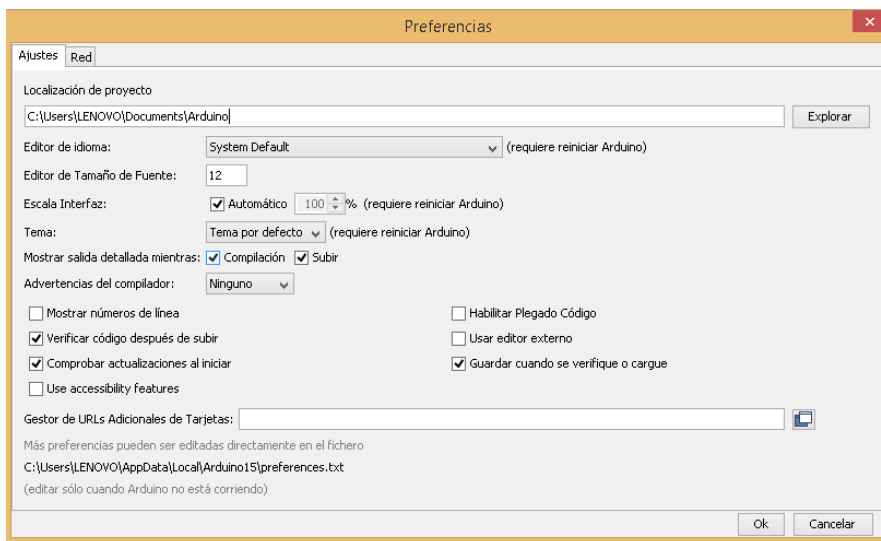
Iniciamos el programa sketch de arduino.



Seleccionamos la opción de archivo-preferencias.



En los ajustes de “mostrar salida detallada mientras” Habilitamos las opciones de subir y compilar, luego seleccionamos ok.



Realizamos la programación del arduino

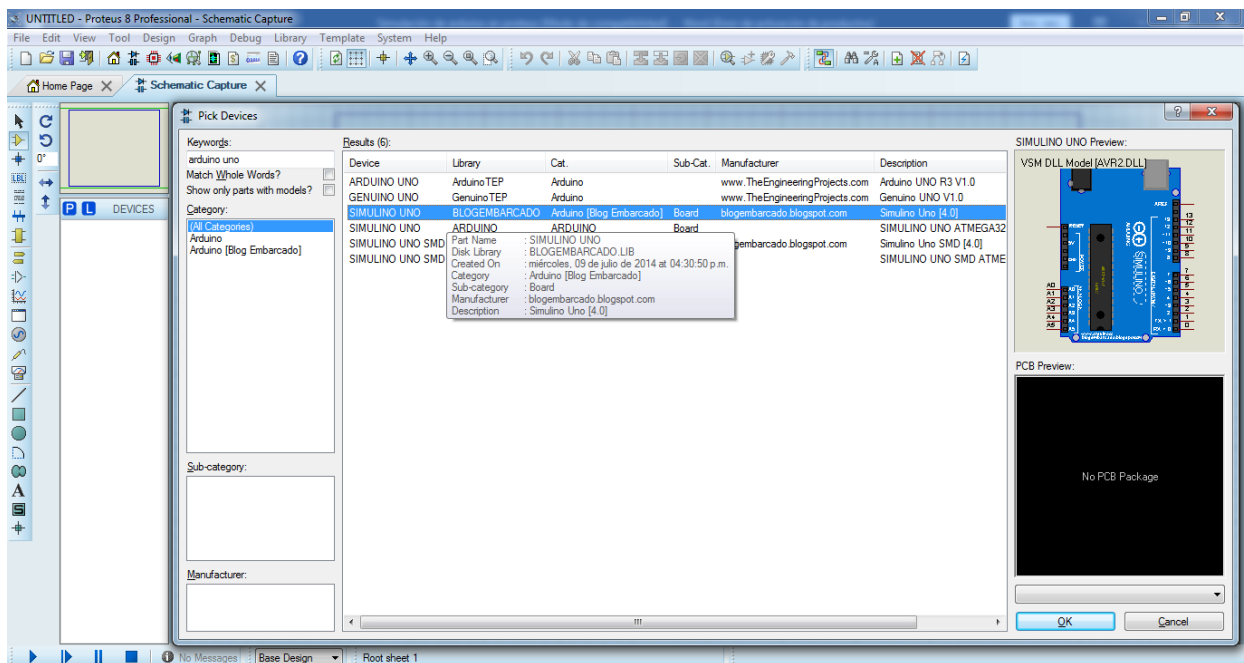
Realizamos la compilación o verificación del programa



En la parte de notificaciones de la pantalla de sketch de arduino buscamos la dirección de fichero que termina en. Hex

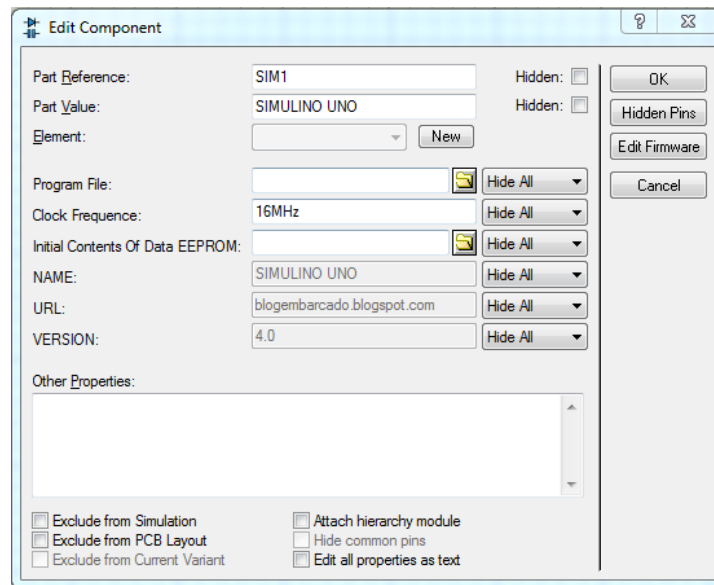
```
-o "C:\Users\USER\AppData\Local\Temp\arduino_build_872234\senpresion.ino.elf" "C:\Users\USER\AppData\Local\Temp\arduino_build_872234\senpresion.ino.elf" --change-section-lma .eeprom=0 "C:\Users\USER\AppData\Local\Temp\arduino_build_872234\senpresion.ino.elf" "C:\Users\USER\AppData\Local\Temp\arduino_build_872234\senpresion.ino.hex"
```

Iniciamos el programa proteus buscamos el tipo de arduino con el que vamos a trabajar



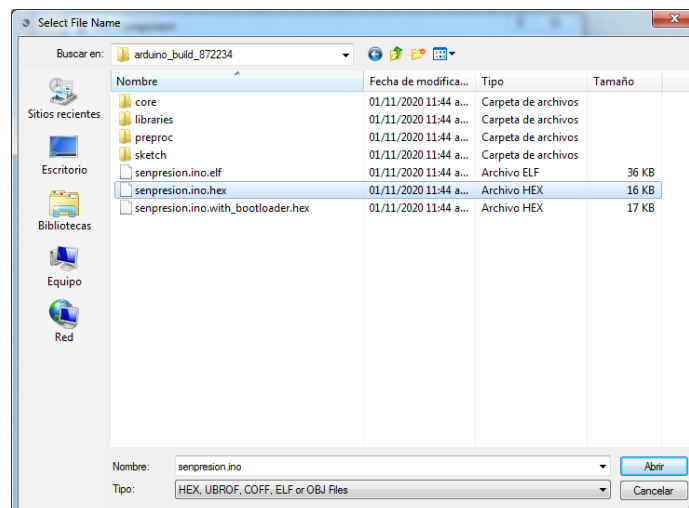
Abrimos las opciones de configuración del dispositivo dando clics dos veces.

En la sección de “program files” pulsamos en el icono de la carpeta a mano derecha.

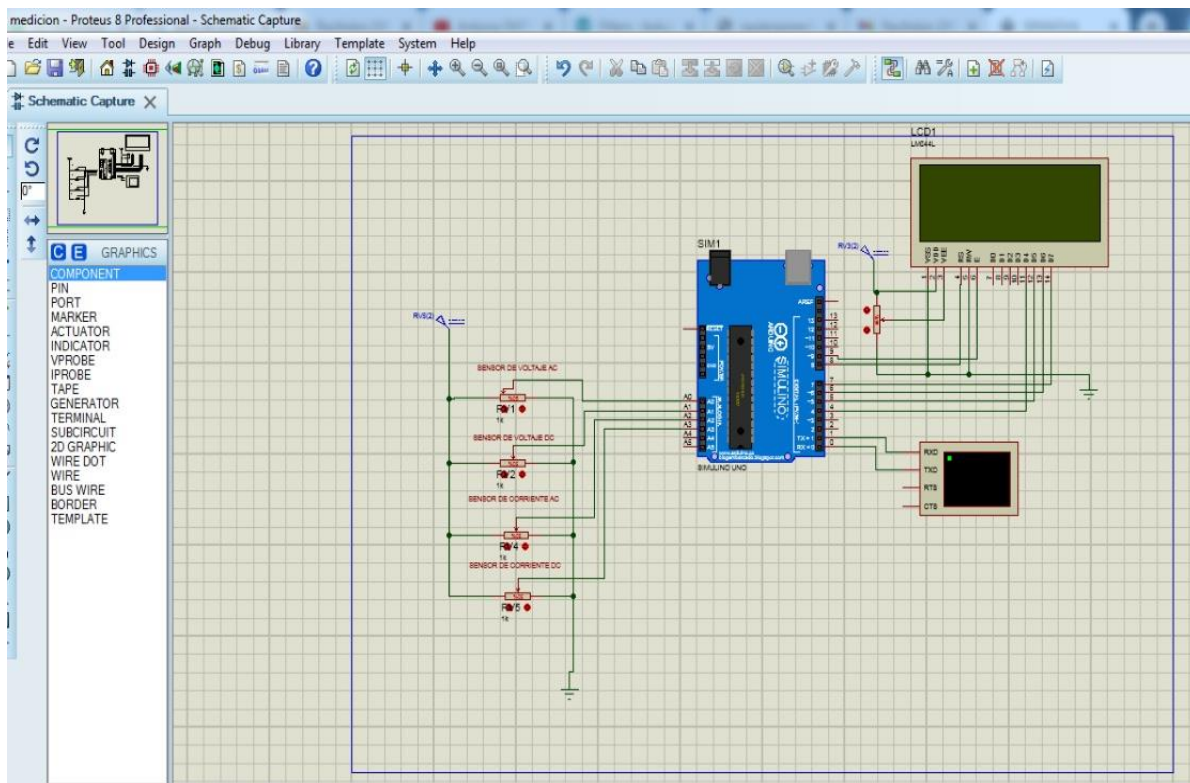


Buscamos el archivo “.hex” según la dirección mostrada anteriormente ejemplo:

“C:\Users\USER\AppData\Local\Temp\arduino_build_872234\senpresion.ino.hex” y le damos abrir.



El arduino se encuentra listo para la simulación junto a su circuito.



Para realizar la simulación de los sensores utilizamos los potenciómetros de 1 Kohm, internamente el arduino tiene internamente un convertor analógico-digital que mapea la tensión recibida a un número. Los valores van desde 0Vdc que es igual a 0 hasta 5Vdc que es igual a 1023, el resto de los valores se calculan de manera proporcional, esto nos permite generar variaciones de las variables igual a las generadas por los sensores de voltaje AV, DC y corriente AC, DC.

De acuerdo al siguiente programa realizado en el simulador podemos observar los valores de voltaje y corriente generados por el circuito para la medición.

4.3 Etapa 3

Ejecutar el montaje y puesta en marcha del sistema de medición de variables eléctricas con tecnología Arduino, en instalaciones de generación de energía solar fotovoltaica de acuerdo al diseño establecido.

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

Construir el sistema de medición de variables eléctricas en instalaciones de energía solar fotovoltaica.

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

Realizar las prácticas pilotos de laboratorio para la medición de variables eléctricas con tecnología Arduino, en instalaciones de generación de energía solar fotovoltaica de acuerdo al módulo de prácticas diseñado.

4.3.1 Diseño de la estructura del módulo de medición

Se diseñaron los planos en AutoCAD de la estructura del módulo para iniciar su fabricación.

Figura 22. Bastidor o soporte de los paneles solares

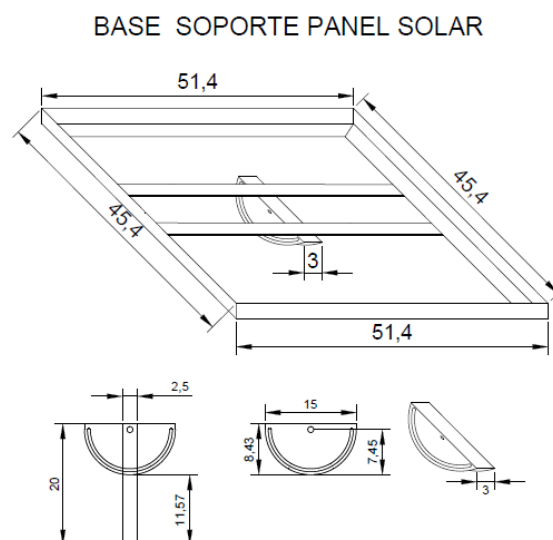


Figura 23. Estructura del módulo para el tablero de medición

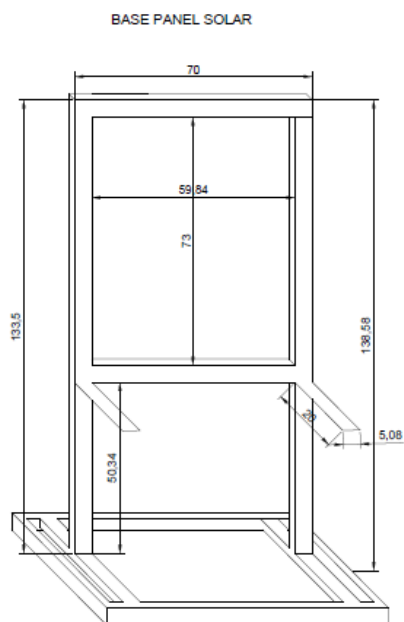
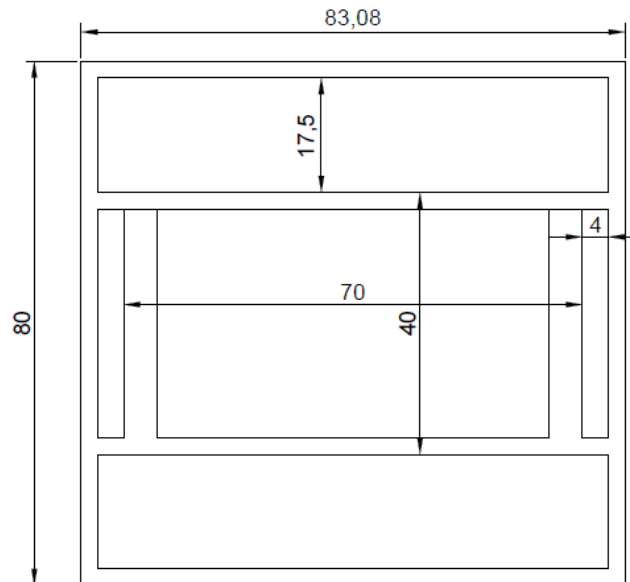


Figura 24. Base de soporte para la estructura general del módulo

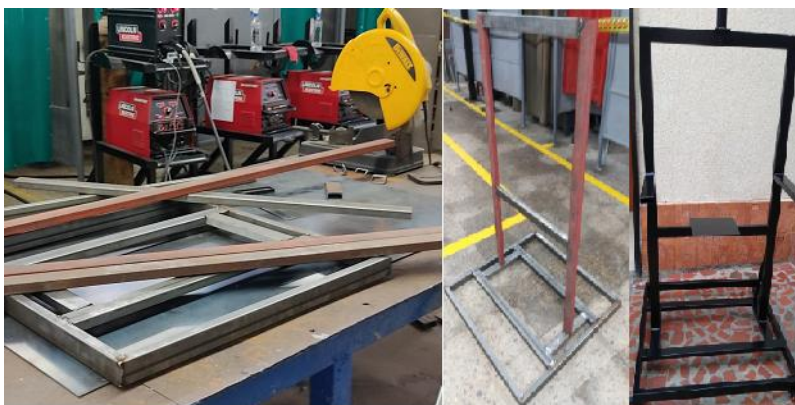


4.3.2 Construcción del módulo de medición

De acuerdo al diseño establecido de la estructura para el modulo se realizó la construcción del mismo; el primer paso fue realizar el corte del material de Tubo de 2" x 1" y su ensamble se realizó en los talleres de soldadura del SENA Regional Norte de Santander donde se gestionó el permiso con la coordinación de industria y el instructor de soldadura Nelson Cárdenas para realizar el ensamble del prototipo.

Se realizó el ensamble y el siguiente paso fue enviarla a pintura al horno como se puede observar en la figura.

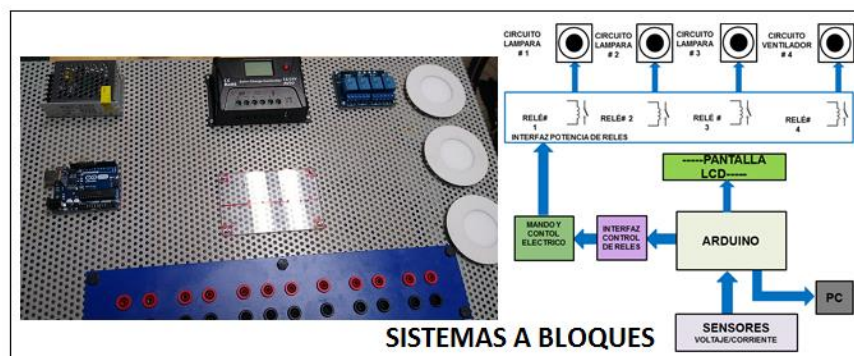
Figura 25. Ensamble de la estructura del módulo



4.3.2.1 Montaje del tablero

Para realizar el montaje del tablero se utilizaron los elementos seleccionados en el diseño y se realizó una distribución en el tablero de acuerdo al plano del sistema a bloques establecido en el diseño.

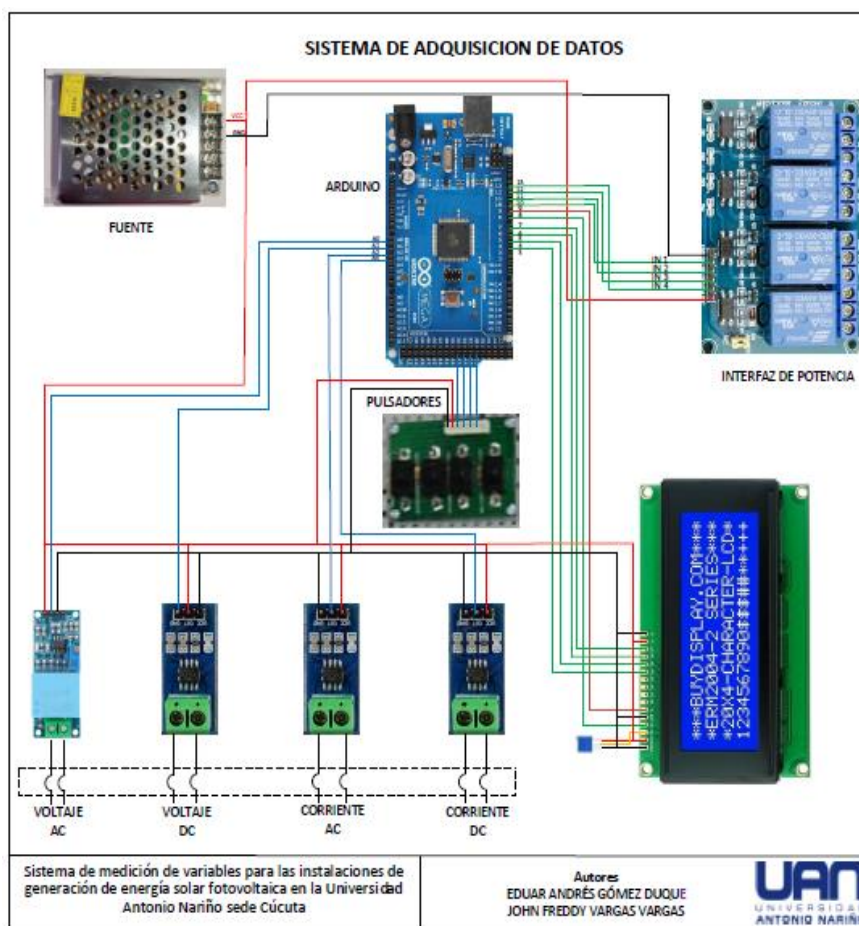
Figura 26. Sistema a bloques y distribución de elementos en el tablero



Después de realizar la distribución de acuerdo al sistema a bloques se procedió a ensamblar y conectar el circuito de control y potencia conectando todo en forma independiente al módulo de borneras donde llegan todas las conexiones de cada equipo y así poder interconectarlos por con puentes de acuerdo al circuito que se quiere montar para cada práctica.

El circuito de control y adquisición de datos se ensambló en la parte frontal del módulo y se conectó por el plano que se muestra a continuación.

Figura 27. Sistema de adquisición, visualización de datos y control



Fuente: Autor

El sistema de la instalación solar se ensambla de la siguiente forma: Los paneles solares en la parte superior en la base basculante de tal forma que se puedan graduar con respecto al Angulo de incidencia solar.

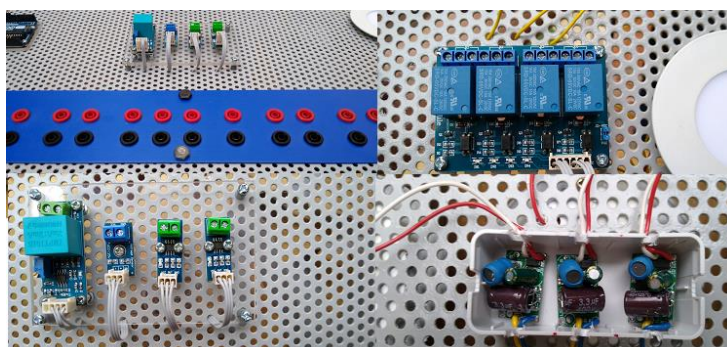
4.3.2.2 Prueba de los equipos de la instalación solar

Antes de instalar los equipos se realizaron pruebas de los paneles el controlador y el inversor como se puede ver en la fotografía.

Figura 28. Pruebas de equipos para la instalación solar



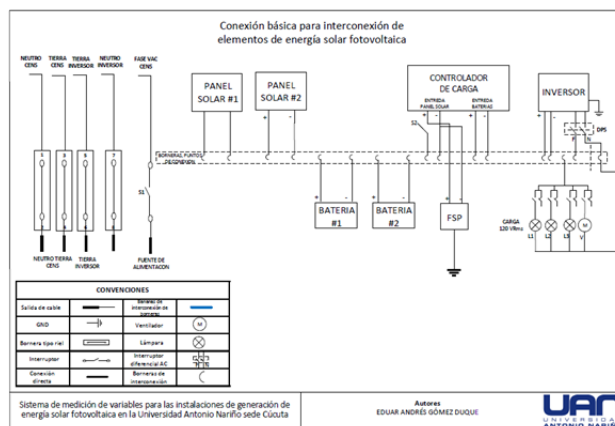
Figura 29. Montaje del sistema de control y Medición



4.3.2.3 Montaje del sistema eléctrico de acuerdo a los planos establecidos en el diseño

Para el montaje del circuito eléctrico se tomó el plano de las conexiones de las salidas de cada equipo al tablero de borneras que es el centro de conexiones para las prácticas.

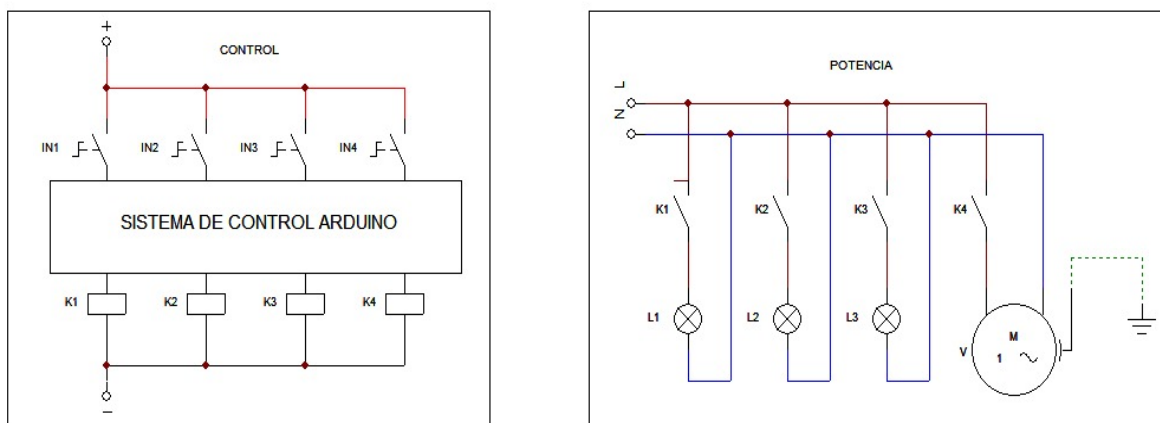
Figura 30. Instalación de generación de energía solar fotovoltaica



Fuente Autor.

Finalmente se realizaron las conexiones de control eléctrico y potencia o carga de acuerdo al siguiente plano estipulado en el diseño.

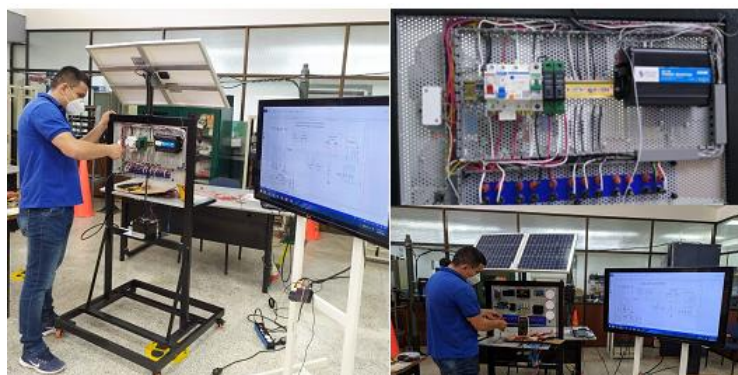
Figura 31. Circuito de control y carga



Fuente Autor.

Montaje y conexión del inversor y los elementos de protección eléctrica tanto para corriente directa como para alterna.

Figura 32. Ensamble del sistema de protección y control eléctrico



Montaje final e interconexión del sistema de control, los equipos de generación solar, medición de corriente y voltaje como podemos observar en la fotografía.

Figura 33. Panel frontal



4.3.3 Validación de las mediciones del sistema

El módulo quedó ensamblado en su totalidad en la parte física y se realizaron pruebas y mediciones del sistema eléctrico solar.

Figura 34. Pruebas de funcionamiento del equipo ensamblado



El equipo quedo totalmente ensamblado se instaló el software y quedo trabajando

Figura 35. Módulo de mediciones de variables eléctricas



4.3.4 Prácticas de laboratorio

Las guías de laboratorio se validaron de acuerdo al diseño y formato entregado.

Figura 36. Realización de prácticas



Figura 37. Formato de las guías de laboratorio

UAN UNIVERSIDAD ANTONIO NARIÑO CÚCUTA	UNIVERSIDAD ANTONIO NARIÑO 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 Académico:
Objetivos:	

2. INTRODUCCIÓN

3. PLANTEAMIENTO DE LAS ACTIVIDADES Y E STRATEGIAS DE APRENDIZAJE

Actividad 1.

Actividad 2.

Actividad 3.

4. EVALUACIÓN

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

	Fecha			
Elaborada por:	Fecha			
Ajustada por:	Fecha			

Página 1 de 2

Fuente: Autor

Ver Anexo 1 Guías.

(Manual del usuario: Se implementó el manual de usuario para su correcta operación).

(Véase el Anexo 2).

4.4 Análisis Económico

Cuadro 8. Presupuesto global del proyecto

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

Cuadro 9. 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
TOTAL MATERIALES ELECTRICOS Y EQUIPOS FOTOVOLTAICOS				\$ 1.446.238

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 a su uso no implica el agotamiento de la misma para satisfacer la demanda energética de la humanidad es decir es inagotable, al momento de aprovechar los recursos disponibles en el medio ambiente, lo cual brinda significativa reducción 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 montaje 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.

CO₂: 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 CO₂, 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 análisis del diseño del sistema de medición de variables eléctricas con tecnología Arduino, me permitió adquirir un conocimiento transversal porque el diseño tiene de especial la interacción de varias tecnologías y de esta forma afianzar pude aplicar conocimientos adquiridos en mi formación como ingeniero electromecánico.

La proyección del sistema de medición de variables eléctricas con tecnología Arduino fue una experiencia con aplicación en trabajo de campo, porque lleve a cabo la planeación y el alistamiento para la ejecución del montaje del sistema de medición, una oportunidad para aplicar conceptos administrativos y logísticos en un proyecto real.

La ejecución y puesta en funcionamiento del sistema de medición de variables eléctricas me abrió un campo de aplicación de mis conocimientos en el área eléctrica y al mismo tiempo ejecutar trabajos de electrónica que solo había realizado en prácticas de laboratorio en la universidad y los más importante realizar un montaje a nivel de ingeniería.

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

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.

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. Guías

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

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			

Anexo 2. Manual del Usuario

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

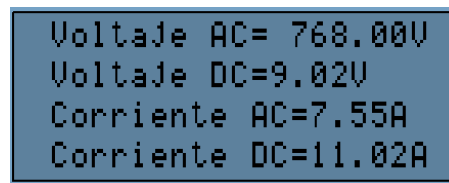
Manual de usuario para sistema de medición de variables para las instalaciones de generación de energía solar fotovoltaica en la Universidad Antonio Nariño sede Cúcuta



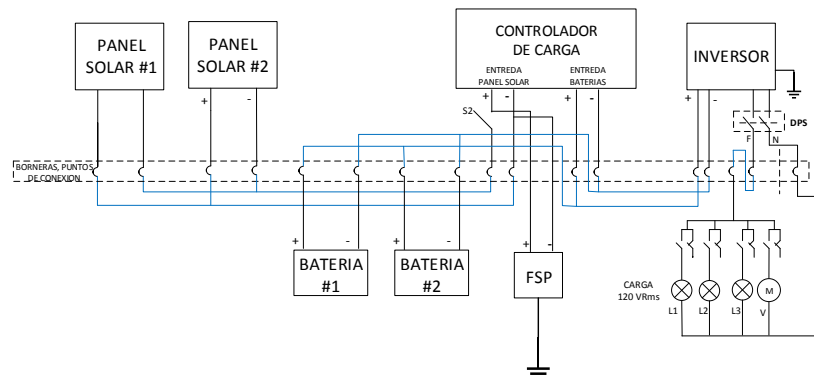
1. Realizar la conexión del banco a 110 Vac.
2. Conmutar el breaker S1 para energizar el sistema de medición y monitoreo.



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



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