UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

FACULTAD DE ELECTROTECNIA Y COMPUTACIÓN

INGENIERÍA ELÉCTRICA

Trabajo monográfico para optar al título de Ingeniero Eléctrico

Tema del proyecto:

PROPUESTA DE IMPLEMENTACIÓN DE UN LABORATORIO PARA EL MONITOREO POR MEDIO DEL SOFTWARE LABVIEW PARA DETERMINAR LA FACTIBILIDAD Y EL COMPORTAMIENTO DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS.

PRESENTADO POR:

Br. José Pablo Cordero Hurtado. 2015-0070U
Br. Douglas Alberto Gómez Martínez. 2015-0186U

Tutor*:*
Ing. Marvin David Castañeda

Managua, Nicaragua

DEDICATORIA

Dedicamos este trabajo primeramente a Dios por darnos salud, sabiduría y las capacidades para lograr cada una de las metas que nos hemos propuesto en la vida. Por darnos esa oportunidad de alcanzar este momento que tanto hemos deseado para ser alguien en la vida y sacar adelante a nuestras familias.

A nuestros padres, por ser pilares fundamentales y mentores de quienes somos, por su amor, enseñanzas, consejos y apoyo incondicional, por darnos ese ánimo de nunca rendirnos a pesar de las dificultades.

A nuestras familias y amigos, quienes forman parte de nuestras vidas, quienes conocen nuestros errores y victorias, en quienes encontramos motivaciones y fuerzas para poder alcanzar nuestros sueños.

Br. Jose Pablo Cordero Hurtado

Br. Douglas Alberto Gómez Martínez

AGRADECIMIENTO

A Dios.

Le agradecemos a Dios, por acompañarnos y guiarnos con su presencia espiritual en este camino tan importante de nuestra carrera universitaria, por ser fortaleza en momentos difíciles y sobre todo por darnos la oportunidad de concluir con éxitos este objetivo anhelado.

A nuestros padres.

Por el apoyo incondicional en todo momento, por transmitir su ejemplo de perseverancia y enseñarnos que se tiene lo que se quiere, si se persevera se alcanza.

A la universidad UNI-RUSB

A la Facultad de Electrotecnia y Computación (FEC), de la Universidad Nacional de Ingeniería, Recinto Simón Bolívar (UNI-RUSB), que a través de su planta docente nos transmitieron sus valiosos conocimientos.

A nuestro tutor.

El Ingeniero Marvin David Castañeda, por su apoyo incondicional y desinteresado, por compartir sus conocimientos y experiencia académica dirigida con sabiduría en el desarrollo de este trabajo.

Br. Jose Pablo Cordero Hurtado

Br. Douglas Alberto Gómez Martínez

RESUMEN

LabVIEW es un software con equipamiento lógico que poseen los sistemas informáticos para realizar una tarea u operación, es decir, es un programa de monitoreo el cual es encargado de realizar diversas operaciones para el análisis del comportamiento de los sistemas fotovoltaicos o fuentes alternativas de generación eléctrica.

Las energías alternativas renovables son aquellas que, a diferencia de las convencionales, usan como fuente de generación recursos que la naturaleza suministra de fuentes prácticamente inagotables en relación al tiempo de vida del hombre en el planeta. Se producen de manera continua y tienen su origen en los procesos ambientales y atmosféricos naturales: el sol, el viento, el curso de agua, la descomposición de la materia orgánica, el movimiento de las olas en la superficie del mar y el calor interior de la tierra. Principalmente están clasificadas en: solar fotovoltaica, eólico, geotérmico, biomasa, hidroeléctrica.

La producción de electricidad mediante fuentes alternativas es un punto fundamental en el desarrollo energético sostenible mundial, ya que su uso puede asegurar el suministro de energía a mediano y largo plazo en condiciones medioambientales aceptables sin agotamiento de los recursos para generaciones futuras.

La energía solar se considera una de las energías menos contaminantes desde el punto de vista ambiental, además de fácil instalación y mantenimiento, puede ser descentralizada y ubicarse en el lugar de consumo, donde no produce emisiones de ningún tipo, sin embargo, durante su producción se dan pasos de cuidado especial por su alto potencial de contaminación. Dadas sus características benéficas y su actual desarrollo tecnológico, así como una importante reducción en sus costos, hace que aumente la cantidad de posibles usuarios, asumiendo un papel fundamental dentro del marco de las energías renovables.

Con la implementación de esta propuesta desarrollada en LabVIEW, lograremos realizar comparaciones y hacer simulaciones de un sistema solar fotovoltaico para determinar la factibilidad y eficiencia de producción del sistema. La ventaja de LabVIEW es que posee un sistema visual gráfico fácil de comunicarse con sistemas operativos actuales y se puede controlar, diseñar y hacer simulaciones reales de sistemas que se implementaran en el futuro.

ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE CONTENIDO Página

Introducción 1

Antecedentes 2

Justificación 3

Objetivos 4

Objetivo general 4

Objetivos específicos..... 4

Capítulo 1. Marco teórico o Conceptual 6

1.1Generalidades de un sistema fotovoltaico 6

1.2 Energía solar fotovoltaica 6

1.2.1 La energía solar..... 6

1.2.2 Energía solar para producir energía eléctrica..... 7

1.2.3 Ventajas y desventajas de la energía solar fotovoltaica..... 8

1.2.4 Aplicaciones de la energía solar fotovoltaica..... 9

1.2.5 Parámetros de funcionamiento de un generador fotovoltaico..... 9

1.2.5.1 Tipos de paneles solares..... 10

1.2.5.2 Paneles solares fotovoltaicos tradicionales..... 10

1.2.5.3 Paneles solares de capa fina..... 11

1.3. Instalar un Sistema Solar Fotovoltaico..... 11

1.3.1 Montar paneles solares y colocar los aparatos es fácil..... 11

1.3.2Componentes de un sistema fotovoltaico simple..... 11

1.3.3 Generador fotovoltaico..... 12

1.3.4 Montura para paneles..... 13

1.3.4.1 Ventilación de los módulos solares..... 13

1.4 Generalidades de software..... 14

1.5 Análisis de selección del software LabVIEW..... 15

1.5.1 interfaz de comunicación 15

1.5.2 Capacidades de interactuar con otros lenguajes y aplicaciones..... 16

1.6 Parámetros a considerar. 17

1.6.1Conexión del equipo para obtener la información a la interfaz..... 18

1.6.2 equipos a utilizar 18

1.6.2.1 equipos esenciales de una instalación fotovoltaica 18

1.7Ingeniería de programación…….. 18
1.7.1Requisitos de la norma UL-4703 para cables fotovoltaicos……. 19
1.7.2Sensor de presión atmosférica BMP180…… 19
1.7.3 Conexiones entre Arduino y módulo BMP180……..... 20
1.7.4 ML8511 sensor radiación solar uv…… 22
1.7.5Sensor de temperatura MLX90614…….. 24
1.7.6Conexión del equipo para obtener la información a la interfaz…..… 25

Capítulo 2. Metodología de implementación …… 26
2.1 Introducción …… 26
2.2 Enfoque de investigación según objetivos…… 29
2.3 Diagrama de flujo del procedimiento general…… 30
2.4 Registro y análisis de datos ……... 31
2.4.1 Carga de iluminación…….. 31
2.4.2 Potencial Fotovoltaico…… 31
2.4.3 Descripción del área de instalación propuesta…… 32
2.4.4 Sistema de puesta a tierra…… 32
2.4.4.1 Tener en cuenta al diseñar redes de puesta a tierra los siguientes aspectos básicos……32
2.4.4.2 Algunas de las razones por la que se debe tener un sistema aterrizado …… 32
2.5 Corrección de datos registrados de radiación. …… 32

Capítulo 3. Diseño del sistema fotovoltaico …… 40
3.1 Estimación del consumo de energía eléctrica …… 41
3.2 Dimensionamiento del subsistema de generación …… 43
3.3 Dimensionamiento del subsistema de acumulación…….. 46
3.4 Dimensionamiento del Regulador-Inversor…….. 47
3.5 Generalidades del sistema solar fotovoltaico diseñado…… 47
3.6 Dimensionamiento del sistema de puesta a tierra…….. 50
3.6.1 Sistema de puesta a tierra……51
3.6.1.1 Tener en cuenta al diseñar redes de puesta a tierra los siguientes aspectos básicos……52
3.6.1.2 Algunas de las razones por la que se debe tener un sistema aterrizado…… 54

Capítulo 4. Análisis y resultados obtenidos por LabVIEW…… 55
4.1 Modelo Desarrollado …… 56
4.1.2 Matriz solar fotovoltaica…… 56
4.1.2.1 Resultado del arreglo de módulos fotovoltaicos…… 59
4.1.3 Banco de acumulación…… 65

4.1.3.1 Resultado del banco de baterías ……. 67
4.1.4 Carga eléctrica…… 70
4.1.4.1 Perfil de consumo de la carga…….. 73
4.1.5 Regulador – Inversor……75
4.1.5.1 Resultados obtenidos del Regulador – Inversor……..77
4.2 PERIODO DE BAJA RADIACIÓN……..80
4.3 COMPARACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS…… 86
4.4 RESULTADOS DE LA COMPARACION …… 87
4.4.1 Primer estudio. Comparación de datos de radiación …… 88
4.4.2 Segundo estudio. Comparación de datos de corriente …… 90
4.4.3 Tercer estudio. Comparación de datos de Voltaje …… 91
4.4.4 Cuarto estudio. Comparación de datos de tensión ……... 92
4.5 Monitoreo del comportamiento de la generación de energía con paneles solares en vacío …… 93
5. Estudio de factibilidad para la implementación del laboratorio ……94
5.1 Factibilidad de Operación ……94
5.2 Factibilidad Técnica ……..95
Conclusión…….. 96
Recomendaciones ……..…..……..…….. 97
Biografía…….. 98
Anexos……..…… 99

TABLA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Conexión del equipo para obtener la información a la interfaz …..17

Ilustración 2. Conexión entre Arduino y modulo BMP180……20

Ilustración 3. Función espectral de obtención de radiación solar del sensor de temperatura MLX90614……..22

Ilustración 4. Estructura del MLX90614……..…..……23

Ilustración 5. Conexión vista desde el lado de Arduino……24

Ilustración 6. Perímetro y superficie de la Universidad Nacional De Ingeniería .26

Ilustración 7. Universidad Nacional de Ingeniería ……26

Ilustración 8. Ubicación de la universidad……27

Ilustración 9. Interior del laboratorio de energía renovable……..28

Ilustración 10. Diagrama de flujo del trabajo……30

Ilustración 11. Módulos Trina Solar TSM-250PC05A……31

Ilustración 12. Registro de datos ambientales en la ubicación del laboratorio….31

Ilustración 13. Irradiación solar global oriental \ marzo- abril - 24\7……32

Ilustración 14. Irradiación solar en los meses del año 2019. DHI, DNI, DHI 1…..33

Ilustración 15. Conexión del sensor ML8511 con Arduino……34

Ilustración 16. Lectura de radiación solar. Arduino……35

Ilustración 17. Programa LabVIEW para almacenamiento de datos……..35

Ilustración 18. Sensores de radiación solar, humedad y temperatura……36

Ilustración 19. Conexión entre módulo BMP180 y Arduino……..36

Ilustración 20. Programa LabVIEW de conexión de paneles fotovoltaicos para el monitoreo y registro de datos……37

Ilustración 21. Arreglo de monitoreo programado LabVIEW ……..37

Ilustración 22. Arreglo Set Dynami, data atributes- LabVIEW ……38

Ilustración 23. Diagrama de bloques de la instalación del sistema fotovoltaico...40

Ilustración 24. Plano eléctrico del diseño propuesto……49

Ilustración 25. Diseño de puesta a tierra ……51

Ilustración 26. Promedio mensual de radiación solar – Archivo climático…….57

Ilustración 27. Promedio mensual de radiación solar –Laboratorio y Archivo climático……57

Ilustración 28. Dispersión – Laboratorio de energía renovable y Archivo climático…58

Ilustración 29. Radiación solar simulada durante 4 días – VIEW 109...……59

Ilustración 30. Circuito equivalente del módulo solar – VIEW 94ª……..60

Ilustración 31. Comportamiento Voltaje y Corriente – interfaz view……65

Ilustración 32. Potencia generada por el arreglo fotovoltaico LabVIEW ……67

Ilustración 33. Estado de carga del banco de baterías – View 9ª……71

Ilustración 34. Voltajes de salida del banco de baterías View 9ª……..72

ilustración 35. Potencia requerida - Horas de operación del laboratorio……74

ilustración 36. Potencia requerida - Horas de bajo consumo……...75

Ilustración 37. Perfil de consumo diario de potencia……76

Ilustración 38. Potencia del regulador-Inversor desde o hacia la batería – View 4d…80

Ilustración 39. Potencia del regulador-Inversor hacia la carga – View 4d……81

Ilustración 40. Periodo de menor radiación solar……...…81

Ilustración 41. Potencia generada por la matriz fotovoltaica - Periodo de menor radiación solar……..83

Ilustración 42. Voltajes en la batería - Periodo de menor radiación solar ……84

Ilustración 43. Estado de carga - Periodo de menor radiación solar……..85

Ilustración 44. Potencia requerida por la carga y Potencia de la batería - Periodo de menor radiación solar……85

Ilustración 45. Simulación para la obtención de datos de parámetros eléctricos de Paneles Solares ……..89

Ilustración 46. Medición Física para la obtención de datos de parámetros eléctricos de Paneles Solares …… 89

Ilustración 47. Simulación en vacío de Paneles Solares ……..93

Ilustración 48. Medición Física en vacío de Paneles Solares……..94

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Datos de ubicación de la universidad ……27

Tabla 2. Datos ambientales de la zona……..27

Tabla 3. Consumo eléctrico del laboratorio……...41

Tabla 4. Elementos del sistema diseñado ……48

Tabla 5. Radiación solar máxima – Periodo de baja radiación……..82

Tabla 6. Tabla de comparación entre simulación y mediciones físicas ……...86

Tabla 7. Tabla de comparación 1 entre simulación y mediciones físicas ……87

Tabla 8. Tabla de comparación 2 entre simulación y mediciones físicas ……90

Tabla 9. Tabla de comparación 3 entre simulación y mediciones físicas ……91

Tabla 10. Tabla de comparación 4 entre simulación y mediciones físicas ……..92

INDICE DE GRAFICAS

Grafica 1. Curva de variación horaria de los aparatos eléctricos ……42

Gráfica 2. Discrepancia de datos de Radiación ……87

Gráfica 3. Discrepancia de datos de Corriente ……..91

Gráfica 4. Discrepancia de datos de Voltaje ……..91

Gráfica 5. Discrepancia de datos de Potencia ……92

INTRODUCCIÓN

En el presente documento se muestra la metodología utilizada para la adquisición, control y monitoreo de sistemas fotovoltaicos implementado en el laboratorio de Energías Renovables, lo que permitirá de manera experimental a los estudiantes de la carrera de Ingeniería Eléctrica poder afianzar los conocimientos teóricos adquiridos en el aula de case y aprovechar la producción de energía eléctrica del sistema fotovoltaico en dicho laboratorio.

La tecnología empleada en el desarrollo de esta tesis utiliza la herramienta LabVIEW para el monitoreo continuo de los parámetros eléctricos que afectan o favorecen el rendimiento de un sistema fotovoltaico.

La solución que hemos elegido también nos ha permitido determinar la factibilidad técnica, operativa y financiera que este proyecto enmarca para su implementación.

Actualmente la energía solar se muestra como una buena alternativa para suplir las necesidades energéticas los cuales han aumentado drásticamente a partir del siglo XXI debido al desarrollo tecnológico y a la necesidad de estos en el hogar, empresas, instituciones y demás entes que adoptan estas innovaciones.

En Nicaragua, dada la enorme variedad y modularidad de los sistemas fotovoltaicos, es obvio que un número significativo de errores puede darse. Esto debido a una poca disponibilidad del monitoreo de los equipos fotovoltaicos instalados y el no poder extraer sus parámetros técnicos. También se desconoce la información de funcionamiento e instalación de los proyectos que operan con sistemas fotovoltaicos.

Existe una serie de etapas en el desarrollo de los sistemas fotovoltaicos en los que pueden ocurrir errores:

- Selección de la ubicación
- Diseño y planificación del sistema
- Selección de los componentes
- Fallos mecánicos
- Fallos eléctricos

Es por ello que necesitaremos de un software capaz de obtener la información para dicho proceso en tiempo real, se hará la simulación del comportamiento de los el panel, inversor, baterías y sensores acoplados al sistema y de los datos generados producto del monitoreo en todo el sistema a partir de la interfaz desarrollada en LabVIEW la que será incorporada por un programa al software, cabe señalar que se hará un monitoreo de la generación de energía, gráficas de potencia, voltaje, corriente, almacenamiento de la energía y todo lo que esté presente en dicho sistema a la hora que este en operación.

ANTECEDENTES

En la última década, debido al crecimiento de los costos de combustibles fósiles y los problemas medioambientales derivados de su explotación, se asistió a un renacimiento de las energías renovables.

El aprovechamiento e interés del hombre por las fuentes de energía renovable, entre ella solar, es muy antigua desde hace muchos siglos antes de la nueva era ya se utilizaban y se continuó durante toda la historia hasta la llegada de la Revolución Francesa, en el que, debido al bajo precio del petróleo, fueron abandonadas.

Las energías renovables son inagotables y limpia sin contaminar el medio ambiente. Por lo que, (Jiménez,2017) afirma que: "Independientemente de que debemos ser eficientes en nuestros consumos eléctricos como primer objetivo, las energías renovables nos brindan la oportunidad de producir nuestra propia energía eléctrica, reducir dramáticamente las emisiones de CO2, y ser más amigables y responsables con el medio ambiente". (pag1)

Nicaragua es uno de los países más bendecidos con fuentes de generación renovables, en el caso de las centrales fotovoltaicas son unos de los primeros 10 países de producción de energía obtenida de la radiación solar y esto ha llevado al país unos de los países con mayor radiación a nivel mundial y el quinto en aprovechar este recurso debidamente.

Para 2008, Nicaragua era uno de los centros más adecuados para los parques solares, llamando la atención a empresa a inclinarse a la invención de esta fuente para la producción de energía sin dañar el medio ambiente, lo cual se ha venido protegiendo desde años anteriores.

Por lo cual, (ECAMI, 2019) expresa: "Al ser una de las fuentes de generación más limpia y más baratas, se interesaron en la instalación de sistemas de monitoreo para cuantificar la producción, estudio de calidad de la energía producida, factibilidad y protección de la instalación en general". (pág. 32)

Por otro lado, existen registros de datos donde han empleado el software LabVIEW y han realizado estudios de eficiencia energética y monitoreo del comportamiento de estos sistemas fotovoltaicos. La universidad de Torreón – México es una de las universidades donde se han realizados estos estudios utilizando este Software con el fin de obtener un mejor análisis en la producción de energía a través una interfaz que permita la visualización de gráficas y hacer comparaciones de comportamiento del sistema además de presentar simulaciones del sistema.

JUSTIFICACIÓN

Se desea realizar esta investigación puesto que existe una limitada información sobre este tipo de instalaciones en lo que corresponde a una estación de monitoreo que continuamente este censando dicho comportamiento, ya que a pesar de que se habla de eficiencia energética, a la hora de realizar una instalación fotovoltaica no se tiene registros tangibles con datos reales de monitoreo que sean certero y la determinación de lo eficiente que son estos sistemas.

Actualmente en Nicaragua se tiene en marcha grandes proyectos de instalaciones de parques fotovoltaicos, se habla de rentabilidad por la radiación solar que posee Nicaragua en algunas zonas del país y que la obtención de la energía es eficiente y amigable al medio ambiente, pero no se tiene un monitoreo con registros donde con exactitud se justifique

Según el Ing. Eduardo Salazar Valle de la Universidad Tecnológica de Torreón, México, dice: "De no existir un correcto monitoreo del sistema de energía solar, las consecuencias pueden variar desde el funcionamiento deficiente hasta un incremento del monto de mantenimiento por daños en el sistema. Es de allí donde parte la necesidad de realizar este estudio a través de la creación de un software para la obtención de información para próximas investigaciones sobre estos sistemas donde se tengan bases de datos y análisis de operación.

Cabe destacar que nuestra propuesta creara las pautas para la implementación de un laboratorio en la universidad (UNI), con el potencial para ser usado tanto en la parte administrativa de la universidad como en el área académica.

No omitimos manifestar el beneficio al sector estudiantil del área de ingeniería eléctrica y carreras afines quienes podrán afianzar y consolidar todos los conocimientos adquiridos teóricamente en el aula de clase y llevar esos conocimientos a la práctica por medio de la experimentación en el laboratorio.

OBJETIVOS

Objetivo general

Proponer la implementación de un laboratorio para el monitoreo y recopilación de información del comportamiento de sistemas fotovoltaicos a través del software LabVIEW para el estudio del rendimiento del sistema.

Objetivos específicos

- Realizar revisión bibliográfica para diseñar y dimensionar la propuesta de implementación del laboratorio de Energías Renovables que utiliza un sistema solar fotovoltaico y el monitoreo de su consumo eléctrico.

- Proponer la reactivación del laboratorio de Energías Renovables de la Facultad de Electrotecnia y Computación de la UNI, de acuerdo al estudio desarrollado en esta tesis.

- Formular estudio de factibilidad que muestre la viabilidad técnica y operacional del sistema solar fotovoltaico en el Laboratorio de Energía Renovable de la Universidad Nacional de Ingeniería.

- Diseñar y programar una interfaz que conecte los paneles fotovoltaicos y el software LabVIEW para analizar variables eléctricas del sistema fotovoltaico, que permita a los estudiantes de Ingeniería Eléctrica consolidar los conocimientos teóricos.

- Monitorear a través del software LabVIEW los parámetros y datos en tiempo real del sistema fotovoltaico que permita a los estudiantes de Ingeniería Eléctrica desarrollar prácticas experimentales.

- Analizar y comparar utilizando el software LabVIEW mediante la adquisición de variables eléctricas y climática de cómo se comporta un sistema solar fotovoltaico en la producción de energía eléctrica y que permita a los estudiantes de ingeniería eléctrica consolidar los conocimientos adquiridos en el aula de clase.

Capítulo 1. Marco Teórico

Capítulo 1. Marco Teórico

1.1 Generalidades

En este capítulo, se muestran los resultados de la revisión bibliográfica relacionada a los sistemas de generación de energía fotovoltaica y los fundamentos teóricos sobre los cuales se basó el desarrollo e implementación del sistema de monitoreo, con paneles fotovoltaicos para uso domiciliar.

En este trabajo se intenta hacer una aplicación práctica de los conocimientos adquiridos durante la carrera de ingeniería eléctrica, empleando un enfoque cualitativo y cuantitativo, en el que se analiza la relación entre las variables y los procedimientos de cálculo para dimensionar el sistema de generación de energía solar fotovoltaica.

1.1.1Energías Renovables

Las energías alternativas renovables son aquellas que, a diferencia de las convencionales, usan como fuente de generación recursos que la naturaleza suministra de fuentes prácticamente inagotables en relación al tiempo de vida del hombre en el planeta. Se producen de manera continua y tienen su origen en los procesos ambientales y atmosféricos naturales: el sol, el viento, el curso de agua, la descomposición de la materia orgánica, el movimiento de las olas en la superficie del mar y el calor interior de la tierra. Principalmente están clasificadas en: solar fotovoltaica, solar térmica, eólica, geotérmica, biomasa, mareomotriz, undimotriz, biomásica y de hidrógeno (Hernández, 2006).

La producción de electricidad mediante fuentes alternativas es un punto fundamental en el desarrollo energético sostenible mundial, ya que su uso puede asegurar el suministro de energía a mediano y largo plazo en condiciones medioambientales aceptables sin agotamiento de los recursos para generaciones futuras (Gutiérrez, 2002).

Energías Renovables en Mercados Eléctricos Rurales (PERMER), es un proyecto desarrollado en algunos municipios de Argentina, donde hogares y escuelas rurales se dotan con módulos fotovoltaicos, donde de una manera sostenible, ayuden a contribuir con la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero (Russo, 2009).

Una de estas fuentes alternativas de generación es la energía solar la cual, es uno de los tipos de renovables llamado "energías verdes", pues no son contaminantes y no representan un problema grave en lo relativo al reciclaje. Existen varios tipos de energía solar, y entre ellos podemos encontrar la energía solar fotovoltaica, para producir electricidad, energía solar termoeléctrica, para producir electricidad a través de un fluido, energía solar térmica, para producir agua caliente de baja temperatura, etc.

Las energías renovables, también denominadas energías verdes, son fuentes de energía amigable con el medio ambiente, es decir que no contaminan y que a su vez su utilización no implica el agotamiento de la misma. (Fernández, 2012).

Actualmente varios países se han tomado en serio el tema de la energía solar, principalmente los primermundistas, que son a su vez los responsables de la mayor cantidad de emisiones de CO2 hacia la atmósfera. Si todo va bien y si el problema se encara desde una perspectiva seria, la organización ecologista Greenpeace calcula que dentro de veinte años la energía solar podría alimentar 2/3 de las necesidades energéticas de la población mundial (Dan, Ojocientifico.com, 2010).

1.2 Módulo fotovoltaico

Un panel solar es un dispositivo que aprovecha la energía del sol para generar calor o electricidad. Según estos dos fines podemos distinguir entre colectores solares, que producen agua caliente (generalmente de uso doméstico) utilizando la energía solar térmica, y paneles fotovoltaicos, que generan electricidad a partir de la radiación solar que incide sobre las células fotovoltaicas del panel.

Los paneles solares fotovoltaicos constan de multitud de celdas, llamadas células fotovoltaicas, que convierten la radiación solar en electricidad. Se genera electricidad debido al 'efecto fotovoltaico' que provoca la energía solar (fotones), generando cargas positivas y negativas en dos semiconductores próximos de distinto tipo, lo que genera un campo eléctrico que producirá corriente eléctrica.

1.3 Energía fotovoltaica

La energía solar fotovoltaica es la energía que proviene de la radiación solar, que se convierte en energía eléctrica de forma directa mediante generadores fotovoltaicos, el cual está compuesto por módulos fotovoltaicos, que a su vez están compuestos por células fotovoltaicas conectadas entre sí, y que, al recibir la radiación solar, genera una diferencia de potencial en sus extremos, proporcionando energía eléctrica en corriente directa DC.

El conjunto de módulos fotovoltaicos que componen un generador se acopla en serie o en paralelo para obtener voltajes y corriente deseada. La corriente eléctrica directa generada por los paneles se puede transformar en corriente alterna AC, para ser utilizada en los aparatos eléctricos y electrónicos de uso común.

1.3.1 La energía solar

La luz solar forma parte del espectro electromagnético, es decir, es un tipo de onda electromagnética que se desplaza por el espacio en todas direcciones y alcanzar la Tierra en un tiempo de 8 minutos.

El efecto fotovoltaico fue descubierto por el físico francés Edmound Becquerel en 1839, al observar que ciertos materiales producían pequeñas cantidades de corriente eléctrica al exponerlos a la luz. Cincuenta años después Willoughby Smith descubrió

el efecto fotovoltaico en sólidos y posteriormente W. Adams y R. Day produjeron la primera célula fotovoltaica de selenio; sin embargo, el fenómeno es explicado a principios del siglo XX por Albert Einstein, basando su concepto de fotoelectricidad en los trabajos previos formulados por Max Planck (Gonzáles, 2009).

La energía solar se considera una de las energías menos contaminantes desde el punto de vista ambiental, además de fácil instalación y mantenimiento, puede ser descentralizada y ubicarse en el lugar de consumo, donde no produce emisiones de ningún tipo, sin embargo, durante su producción se dan pasos de cuidado especial por su alto potencial de contaminación. Dadas sus características benéficas y su actual desarrollo tecnológico, así como una importante reducción en sus costos, hace que aumente la cantidad de posibles usuarios, asumiendo un papel fundamental dentro del marco de las energías renovables (Gutiérrez, 2002).

La energía solar fotovoltaica dependiendo del tipo de aplicación, costos y rendimientos esperados, utiliza distintos materiales como el silicio amorfo, silicio cristalino, el teluro de cadmio o CIGS, aunque se sigue investigando en materiales y configuraciones que aumenten el rendimiento de la célula (Gonzáles, 2009).

Consiste en la conversión directa de la energía solar en energía eléctrica mediante células fotovoltaicas, estas, son láminas semiconductoras de silicio dopado, con la propiedad que, al incidir radiación solar sobre ellas, se produce una diferencia de potencial (en la junta del semiconductor tipo p con el tipo n), que genera una corriente de electrones, que se aprovecha en forma de electricidad en un circuito externo o carga (Hernández, 2006).

La corriente continua DC, generada por los módulos fotovoltaicos se transforma en corriente alterna AC, a través de un inversor y puede ser inyectada a la red (obteniendo una retribución económica), o de forma aislada para generar pequeñas cantidades de electricidad en zonas alejadas de la red de transporte y auto consumida de manera directa, por ejemplo para sacar agua de un pozo mediante un motor eléctrico, o siendo almacenada en acumuladores para usarse posteriormente en iluminación y aparatos eléctricos (Hernández, 2006).

Los sistemas aislados al no estar conectados a la red eléctrica, están equipados con baterías de acumulación para la energía producida, en relación a que a menudo la demanda de energía se concentra en las horas de la tarde y nocturnas (Martínez, 2011).

Generalmente un sistema solar fotovoltaico está compuesto por paneles solares, acumuladores, regulador de carga, inversor, convertidor y controlador para conexión a red eléctrica y resistencias de pérdidas (Guasch, 2003). Su diseño consiste en encontrar el ángulo de inclinación óptimo de los módulos fotovoltaicos, el área del conjunto de módulos, la capacidad de las baterías que mejor se adaptan a la demanda eléctrica y la distribución de radiación solar en el sitio (Zanesco et al, 2004).

1.3.2Ventajas y desventajas de la energía solar fotovoltaica.

Ventajas

- Es una fuente de energía muy amigable con el medio ambiente, su operación no produce ninguna contaminante.
- Los costos de operación son muy bajos.
- El mantenimiento es sencillo y de bajo costo
- Los módulos tienen un periodo de vida al menos de 25 años.
- Se puede integrar en las estructuras de construcciones nuevas o existentes.
- Se pueden hacer módulos de varios tamaños y características.
- El costo disminuye a medida que avanzando.
- Los paneles fotovoltaicos son silenciosos y limpios.

Desventajas

- Los costos de instalación son altos, requiere de una gran inversión inicial.
- Para recolectar energía solar a gran escala se requiere de grandes extensiones de terreno.
- La energía se limita, de acuerdo a la capacidad de los paneles instalados.

1.3.3 Aplicaciones de la energía solar fotovoltaica.

La energía fotovoltaica está adaptada para varias aplicaciones donde se necesita generar electricidad, bien sea para satisfacer las necesidades energéticas de aquellos que no disponen de electricidad, o bien para generar energía a hacia la red eléctrica, se puede decir que los sistemas fotovoltaicos están clasificados en función de sí está o no conectados a la red eléctrica convencional, tales como:

El sistema aislado a la red eléctrica: requiere de baterías para almacenar la energía producida para su posterior uso, la cual tiene muchas aplicaciones: en el alumbrado público en los pueblos, carteles publicitarios, señalización, faros, entre otros, esta energía como tal se puede después transformarla a corriente alterna mediante un inversor.

1.3.4 Parámetros de funcionamiento de un generador fotovoltaico

La característica eléctrica de un panel fotovoltaico está dada por la relación de intensidad de corriente y su tensión (I - V) que fluye a través de dicho panel, llamada curva solar. Esta curva dependa de la irradiación (W/m2), de la composición espectral, de la radiación solar incidente y de la temperatura de la celda.

Efectos de la radiación solar: La calidad de energía eléctrica que entrega el panel fotovoltaico, está dado por el grado de radiación solar que cae sobre él, es decir la potencia que entregue el módulo depende de la intensidad de radiación solar.

Efecto de la temperatura: La temperatura, tiene una influencia importante, al aumentar la temperatura, se incrementa también la corriente, disminuyendo la tensión, teniendo como resultado la disminución de la potencia entre un 0.3 a
0.5 % por grado °C.
Todos estos parámetros fundamentales son proporcionados por los fabricantes en las hojas de características de los paneles fotovoltaicos. Debe tenerse en cuenta que estos parámetros no son constantes ya que los fabricantes toman como referencia unas condiciones de funcionamiento estándar conocidas como Condiciones Estándar de Medida (CEM) que son unas condiciones de Irradiación y temperatura determinadas en la celda solar, estas condiciones son:
• Radiación de 1000 W/m2.
• Temperatura de célula de 25 °C

1.3.4.1 Tipos de paneles solares:

Existen dos tipos de paneles solares y que son los paneles fotovoltaicos tradicionales, que quizás sean más conocidos, y los paneles de capa fina. La diferencia entre ambos, o de hecho lo que todo el mundo sabe de ellos es que los fotovoltaicos pueden instalarse en el suelo o en los postes o en el techo y además su tamaño es bastante considerable.
En el caso de los de capa fina, que de hecho son también fotovoltaicos, hay que decir que son mucho más finos, que se instalan con cierta facilidad en un techo o en una terraza, por ejemplo y que para muchas personas son mucho más estéticos, o por decirlo de alguna manera, más bonitos.

1.3.4.2 Paneles solares fotovoltaicos tradicionales:

Los paneles solares fotovoltaicos son los que comúnmente se instalan en lo alto de edificios o en campos de gran tamaño, son capaces de recoger su energía a partir de la luz solar y gracias al uso de una silicona y de otros materiales que le permiten almacenar dicha energía.
Son muy buenos cuando el sol está brillando, es decir, que aportan mucha energía, aunque no es así cuando el sol se pone, por lo que cuentan con un sistema de almacenaje que permite que dispongamos de la energía acumulada, algo similar a lo que hacen las baterías.

Al margen de una clara diferencia entre su grosor, o el modo en el que se instalan, hay que decir que los paneles solares, sean fotovoltaicos o de capa fina, son en ambos casos bastante caros en su instalación (los de capa fina un poco más), y aunque seguramente no nos alcanzará el presupuesto, tenemos que tener en cuenta que a la larga va a ser una inversión de futuro.

1.3.4.3 Paneles solares de capa fina:

Este tipo de paneles solares también utilizan la energía del sol, aunque para muchas personas están siendo mejores, porque son sencillamente mucho más finos, y de hecho son capaces de aportarnos muchísima energía.

Dichos paneles que son de una película muy fina, están hechos a partir de un material que es muy ligero y flexible. Un material que permite capas muy delgadas y que es reactivo lo que hace que se eviten la necesidad de capas gruesas de los otros paneles.

Es por ello que, repito, son mejores para muchas personas, si bien los podemos colocar sobre el suelo o las baldosas de una terraza o de un techo y sin la necesidad de soporte alguno. (Espada, 2012)

En la actualidad se considera que el costo de instalación de un sistema tradicional de energía solar, basado en los clásicos paneles de silicio de película delgada, se lleva consigo entre la mitad y las dos terceras partes de los gastos de la instalación.

Esto es contabilizando el gasto en los paneles y los componentes estructurales de las unidades exteriores, sin enumerar los sistemas internos de almacenamiento, puesta en forma y distribución de la energía, afirmó Vladimir Bulovic, profesor en el Departamento de Ingeniería Eléctrica y Ciencias de la Computación del MIT. (Sacco, 2011).

1.4 Instalar un Sistema Solar Fotovoltaico.

1.4.1 Montar paneles solares y colocar los aparatos es fácil.

Todos los equipos de calidad vienen con un manual de instalación donde se indican los procedimientos y como ajustarlos. A veces, estos manuales existen solamente en inglés. Hay que seguirlos. Se requiere herramientas adecuadas que incluyen pinzas especiales para colocar los terminales y los conectores fotovoltaicos. Si conocemos sus necesidades, podemos enviar los cables ya confeccionados según sus indicaciones.

1.4.2 Componentes de un sistema fotovoltaico simple

Los componentes de un sistema solar deben ser dimensionados según requerimientos y condiciones locales.

Un sistema tradicional simple (acoplamiento DC) de bajo voltaje consiste de paneles (o módulos solares), a colocar sobre una montura en el techo o sobre un poste, un controlador que regula la corriente fotovoltaica y protege las baterías, baterías aptas para el uso cíclico de cargar y descargarlas diariamente,

Un inversor de onda sinusoidal (si se requiere 220V). Cuidado, inversores baratos que no producen una onda sinusoidal pura afectan la vida de muchos aparatos y pueden romperlos.

Fusibles (breakers).

1.4.3 Generador fotovoltaico.

Un generador fotovoltaico (FV) está compuesto por uno varios paneles solares fotovoltaico y este a su vez formado por un conjunto de células fotovoltaicas que producen electricidad a partir de la luz solar, llamados fotones. Algunos de los fotones de luz que provienen de la radiación solar impactan sobre la superficie del panel

fotovoltaico penetrando en él, y siendo absorbidas por materiales semiconductores. Los electrones contenidos en el panel fotovoltaico son golpeados por los fotones de luz, liberando a los átomos a los que estaban confinados originalmente, esto permite posteriormente circular a través de un material conductor y producir electricidad.
La célula solar está basada en el material de silicio, el cual se extrae de la arena común (SiO_2).
Para la creación de las células fotovoltaicas intervienen seis procesos principales hasta obtener el módulo solar capaz de proporcionar energía eléctrica:

- Extracción del oxígeno de la arena para obtener silicio.
- Purificación del silicio.
- Crecimiento.
- Corte para obtener obleas de silicio.
- Formación de la célula.
- Encapsulado de células para formar el panel fotovoltaico.

Las células solares de silicio, se pueden fabricar mediante diferentes tecnologías y procedimientos para conseguir determinados objetivos de rendimiento, de condiciones físicas, tales como la flexibilidad, rendimiento y el espesor.

Los paneles proporcionan en su salida de conexión, una tensión continua, y se diseña para valores concretos de tensión (6V, 12V, 24V, …) que definirán la tensión a la que va a trabajar el sistema fotovoltaico.

- **El inversor**

Recomendamos fuertemente conseguir un inversor con onda sinusoidal, porque los baratos no sinusoidales o semi-senosoidales acortan la vida y pueden dañar aparatos sensibles como por ejemplo compresores de neveras y otra electrónica. Cuestan más, pero el costo adicional es justificado. Inversores de calidad además vienen con toda la protección para las baterías, contra malas conexiones, sobrecarga y contienen fusibles que aumentan la seguridad.

- **La conexión**

Un inversor se conecta al controlador si la salida del controlador puede mantener los amperes que el inversor requiere para su máxima potencia. Frecuentemente este no es el caso y se pone directamente a la batería en paralelo al controlador. Para esto se usan conectores de baterías que permiten la conexión de ambos cables en una forma limpia para asegurar buenos contactos. Las conexiones de 220V de la salida del inversor se realizan igual que una instalación común de 220V. No hay que olvidar los fusibles.
Cables y conectores, la distribución de la energía con cajas de paso, etc., una conexión a tierra y, una protección contra rayos donde pueden ocurrir tormentas.

1.4.4 Montura para paneles

Se puede montar los paneles en cualquier sitio (evitando sombras), normal es sobre un techo o un poste. Las estructuras deben ser suficiente fuertes para resistir a:

- Los vientos más fuertes que pueden ocurrir en la zona
- Eventos sísmicos
- Otras fuerzas como golpes, etc.

Evitar robos puede ser importante. Hay varias soluciones, por ejemplo, tornillos especiales que requieren una llave especial (similar a la protección contra robo de llantas de carros) o se puede encapsular los módulos.

Se recomienda usar tornillos de acero inoxidable para una instalación duradera.

1.4.4.1 Ventilación de los módulos solares

Mientras más frío, mejor es el rendimiento, porque en temperaturas elevadas los paneles producen menos (excepción son paneles orgánicos). Paneles solares se calientan no solamente por la temperatura del ambiente, producen su propio calor. Gran parte de la radiación no convertida en electricidad se transforma en calor.
Sin ventilación, paneles pueden calentarse fácilmente a más de 50ºC y así pierden más de 10% de energía. Módulos de baja calidad pueden perder hasta el doble.

Es de gran importancia instalar los paneles en tal manera que el calor no se acumula en dejar espacios. Es de ventaja si una brisa de aire apoya el enfriamiento.

1.5 Generalidades de software

Un software es un equipamiento lógico que poseen los sistemas informáticos para realizar una tarea u operación, es decir, es un programa. Un programa que para este monitoreo es el encargado de realizar diversas operaciones para el análisis del comportamiento de los sistemas fotovoltaicos o fuentes alternativas de generación.

El LabVIEW es un lenguaje de programación de alto nivel, de tipo gráfico, y enfocado al uso en instrumentación. Pero como lenguaje de programación, debido a que cuenta con todas las estructuras, puede ser usado para elaborar cualquier algoritmo que se desee, en cualquier aplicación, como en análisis, telemática, juegos, manejo de textos, etc.

Cada programa realizado en LabVIEW será llamado Instrumento Virtual (VI), el cual como cualesquiera otros ocupas espacio en la memoria del computador.

1.6 Análisis de selección del software LabVIEW.

Para la implementación de la herramienta LabVIEW nos aseguramos que este sea un software que se capaz de entender el comportamiento, realizar comparaciones y hacer simulaciones de un sistema solar fotovoltaico, para realizar la determinación de factibilidad y eficiencia de producción de estos sistemas. Puesto que es una plataforma de desarrollo para diseñar sistemas con el lenguaje de programación visual gráfico con el fin de controlar, diseñar y hacer simulaciones reales.

Presenta facilidades para su manejo tales como:

- **Interfaces de comunicación.**

Una interfaz es el puerto (circuito físico) a través del que se envían o reciben señales desde un sistema o subsistemas hacia otros. No existe una interfaz universal, sino que existen diferentes estándares (Interfaz USB, interfaz SCSI, etc.) que establecen especificaciones técnicas concretas (características comunes), con lo que la interconexión sólo es posible utilizando la misma interfaz en origen y destino.

Así también, una interfaz puede ser definida como un intérprete de condiciones externas al sistema, a través de transductores y otros dispositivos, que permite una comunicación con actores externos, como personas u otros sistemas, a través de un protocolo común a ambos. Una interfaz es una Conexión física y funcional entre dos aparatos o sistemas independientes.

- **Capacidades de interactuar con otros lenguajes y aplicaciones.**

En términos generales, es el intercambio de información mediante software entre las personas y las computadoras. Esta disciplina se encarga del diseño, evaluación e implementación de los aparatos tecnológicos interactivos, estudiando el mayor número de casos que les pueda llegar a afectar. El objetivo es que el intercambio sea más eficiente: minimizar errores, incrementar la satisfacción, disminuir la frustración y, en definitiva, hacer más productivas las tareas que rodean a las personas y los computadores.

Es muy importante diseñar sistemas que sean efectivos, eficientes y sencillos a la hora de utilizarlos, dado que la sociedad disfrutará de estos avances. La dificultad viene dada por una serie de restricciones que obligan a los equipos de diseño a hacer algunos sacrificios en éste.

Algunas de las aplicaciones de esta disciplina podrían ser: la creación de librerías digitales donde los estudiantes pueden encontrar manuscritos medievales virtuales de hace centenares de años; herramientas para el campo de la medicina, como uno que permita a un equipo de cirujanos conceptualizar, alojar y monitorizar una compleja operación neurológica; los mundos virtuales para el entretenimiento y la interacción social, servicios del gobierno eficientes y receptivos, que podrían ir desde renovar licencias en línea hasta el análisis de un testigo parlamentario; o bien teléfonos inteligentes que saben dónde están y cuentan con la capacidad de entender ciertas frases en un idioma.

- Herramientas gráficas y textuales para el procesado digital de señales.
- Visualización y manejo de gráficas.
- Adquisición y tratamiento de imágenes.
- Control de movimiento.
- Tiempo real.
- Programación de FPGAs para el control o validación de sistemas.
- Sincronización en dispositivos.

Por todas estas facilidades de su uso y funcionamiento es que decidimos usar esta herramienta para el monitoreo de un sistema fotovoltaico.

Como se ha dicho es una herramienta gráfica de programación, esto significa que los programas no se escriben, sino que se dibujan, facilitando su comprensión. Al tener pre-diseñados una gran cantidad de bloques, se le facilita al usuario la creación del proyecto, con lo cual en vez de estar una gran cantidad de tiempo en programar un dispositivo/bloque, se le permite invertir mucho menos tiempo y dedicarse un poco más en la interfaz gráfica y la interacción con el usuario final. Cada VI consta de dos partes diferenciadas:

Panel Frontal: El Panel Frontal es la interfaz con el usuario, la utilizamos para interactuar con el usuario cuando el programa se está ejecutando. Los usuarios podrán observar los datos del programa actualizados en tiempo real (como van fluyendo los datos, un ejemplo sería una calculadora, donde tú le pones las entradas, y te pone el resultado en la salida). En esta interfaz se definen los controles (los usamos como entradas, pueden ser botones, marcadores etc.…) e indicadores (los usamos como salidas, pueden ser gráficas).

Diagrama de Bloques: es el programa propiamente dicho, donde se define su funcionalidad, aquí se colocan íconos que realizan una determinada función y se interconectan (el código que controla el programa). Suele haber una tercera parte icono/conector que son los medios utilizados para conectar un VI con otros $VIss$.

En el panel frontal, encontraremos todo tipos de controles o indicadores, donde cada uno de estos elementos tiene asignado en el diagrama de bloques una terminal, es decir el usuario podrá diseñar un proyecto en el panel frontal con controles e indicadores, donde estos elementos serán las entradas y salidas que interactuarán con la terminal del VI. Podemos observar en el diagrama de bloques, todos los valores de los controles e indicadores, como van fluyendo entre ellos cuando se está ejecutando un programa VI.

1.7 Parámetros a considerar.

Para ello, haremos el uso de conocimientos de programación y adaptación de interfaz para mejor monitoreo. Para dicha creación tomaremos en cuenta parámetros que afecten al sistema y los que contribuyen a él:

- Buses de datos históricos, son los encargados de trasferir información entre todos los componentes de una computadora, es decir, que mandan impulsos eléctricos de la computadora a el procesador para que este realice sus funciones y los incorporaremos para que este haga las comparaciones y deduzca que tan eficiente o viable está siendo la instalación.

- Estado de los equipos que conforman el sistema (inversor, sensores, paneles solares, conductores y el Arduino), esto para que el mismo software determine cuando estos están trabajando bien y cuando no, lo que conlleva a que trabajaremos en la implementación de este software para que nos determine el momento para hacer mantenimiento preventivo.

- Factores externos del sistema, estos factores que impedirían la buena producción de energía los cuales están ligados con los factores ambientales y físicos adversos a la planta y estos son polvo, temperatura, sombreado en el lugar y esto genera desajustes de voltaje y corriente. Estos pueden presentarse de manera constante o parcial donde estos factores pueden crear un impacto para la factibilidad del sistema. Es por ello tomarlo en cuenta para dicha implementación del software LabVIEW.

- Factores internos, estos son los factores que se presentan en los componentes de la instalación del sistema (inversor, baterías, fugas, corto circuitos, etc.)

- Nivel de radiación solar, promedio de radiación solare durante todo el año para determinar la potencia que se estará entregando.

1.8 Ingeniería de programación

La ingeniería de programación son métodos, técnicas para realizar los diferentes tipos de tareas que un programa pueda ejecutar a través de lenguajes de programación y descripción de los algoritmos que tomará el programa y presentados en un interfaz que nos es más que la transformación de señales computacionales a señales que permite a una persona interactuar con la máquina.

I. Obtención de la información
II. Conexión con el conversor
III. Conexión con la carga
IV. Conexión de sensores a la interfaz

V. Conexión con la interfaz para convertir datos analógico-digital
VI. Conexión de interfaz con la pc
VII. Programa LabVIEW
VIII. LabVIEW como interfaz gráfica para comunicar usuario-maquina
IX. Usuario

- Conexión del equipo para obtener la información a la interfaz

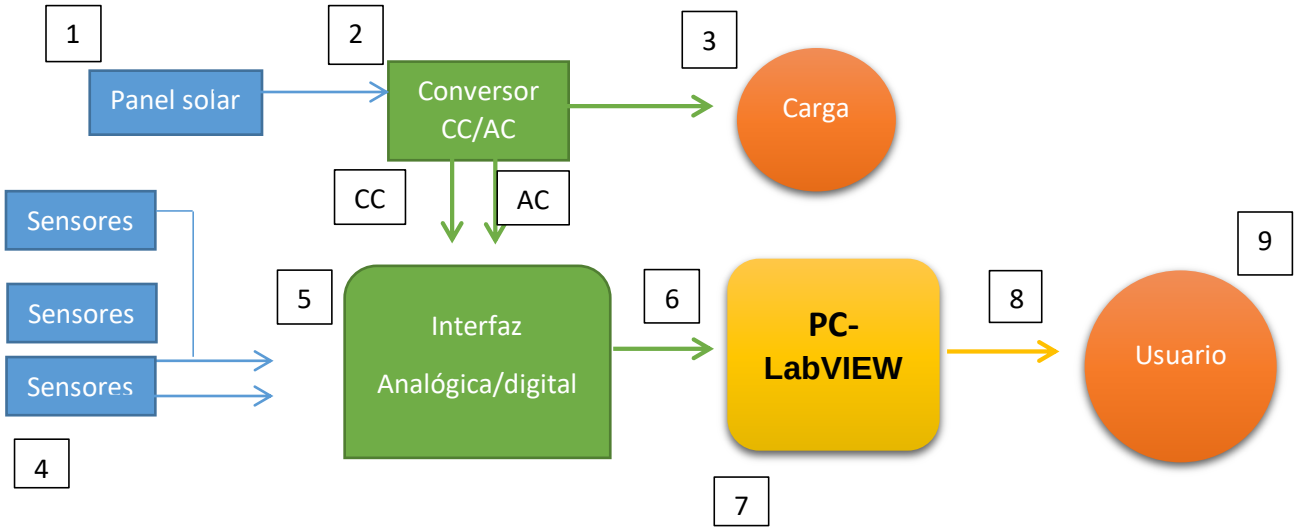


Ilustración 1. Conexión del equipo para obtener la información a la interfaz
Fuente: Propia, obtenida de Word

Equipos a utilizar

- Arduino
- Computadoras
- Paneles solares
- Conductor
- Inversor
- Sensores

- **Arduino**: se utilizará un Arduino como interfaz hardware para que conecte el sistema fotovoltaico y la pc que tiene el software LabVIEW para el monitoreo del comportamiento del sistema fotovoltaico instalado.
- **Inversor:** el inversor se utiliza para convertí la tensión cc a una tensión ac, sucesivamente esto ocurre con la corriente, mayormente este equipo se utiliza para conectar la carga o consumir eléctrico de corriente alterna.
- **Paneles solares:** son los que se encargan de la recepción por su fotocelda de la radiación solar y la convierten en energía eléctrica para ser utilizado como sea conveniente

- **Conductor**: son los que se encargan de conectar el inversor y los paneles solares para transmitir la energía sobre él.

Cable PV

El cable fotovoltaico, también conocido como cable PV, es un cable de un solo conductor utilizado para conectar los paneles de un sistema de energía eléctrica fotovoltaica. Los sistemas PV, o paneles solares, son sistemas de producción de energía eléctrica que captan la luz solar para producir electricidad a través de un proceso de conversión de energía. La electricidad se produce en el panel y el cableado es necesario para llevar la energía eléctrica a una caja combinadora o punto de almacenamiento. El cable fotovoltaico es un tipo específico de cable creado para este tipo de aplicaciones.

Requisitos de la norma UL-4703 para cables fotovoltaicos

- Calibre del conductor: 18 AWG hasta 2000 kcmil.
- Material del conductor: cobre, aluminio revestido de cobre, aluminio.
- Aislamiento: XLPE, EPR.
- Tensión: 600 V, 1 kV, 2 kV.
- Resistente a la luz solar.
- Temperatura de operación: 90°C en ambiente húmedo; y 105°C, 125°C y 150°C en ambiente seco.
- Opción para enterramiento directo.
- Opciones adicionales: USE-2, RHW-2.
- Construcción: Conductor simple, sin blindaje.

Los cables fotovoltaicos para paneles o cajas combinadoras se construyen comúnmente con conductores de cobre en calibres 12 AWG, 10 AWG y 8 AWG. Los cables para los feeders o alimentadores son comúnmente mayores o iguales a un calibre 1/0 AWG, son de aluminio y clasificados a 2 kV.

Los cables PV de 1 kV y 2 kV a menudo tienen el mismo espesor de aislamiento. Los cables fotovoltaicos de 2 kV son estándar para sistemas que requieren capacidades superiores a 600 V.

- **Sensores:** todos los dispositivos con los cuales se harán las mediciones sistemáticas con el fin de tener control y monitorear el comportamiento del sistema instalado.

- **Sensor de presión atmosférica BMP180**

El sensor de presión barométrica BMP180 está diseñado para leer la presión atmosférica y de esta forma estimar indirectamente la Altura sobre el nivel del mar. La presión atmosférica es la fuerza que ejerce el aire (atmósfera) sobre la superficie de la tierra.

La presión atmosférica se debe al peso de la columna de aire sobre determinada área, es por esta razón que, al medir la presión atmosférica en puntos con mayor altitud, el valor de la presión es menor por ser menor la cantidad de aire. La presión atmosférica también varía con el clima, principalmente con la temperatura, pues esta hace cambiar la densidad del aire, que se ve reflejado en un cambio en el peso y por consiguiente en un cambio de presión.

Entonces, la presión atmosférica varía con la temperatura y la altitud, estas dos variables son las más representativas para el cambio de presión. Factores como la humedad relativa y la velocidad del viento también influyen en la presión atmosférica en menor forma y pueden ser obviados.

Lo que mide el sensor BMP180 es la presión absoluta (Barométrica) y la temperatura, al censar la temperatura podemos compensar su influencia en la presión y así determinar con mayor exactitud la altitud.

Nuestro módulo BMP180 incluye además del sensor BMP180, un regulador de voltaje (5V a 3.3V), resistencias pull-up y capacitores bypass. El Módulo puede alimentarse directamente de la salida de 5V de Arduino. Posee un formato pequeño y de bajo consumo de corriente.

- **Conexiones entre Arduino y módulo BMP180**

Las conexiones son como cualquier conexión I2C:

Adaptador LCD a I2C	**Arduino Uno, Nano, Mini.**	**Arduino Mega , DUE**	**Arduino Leonardo**
VCC	5V	5V	5V
GND	GND	GND	GND
SCL	A5	21	3
SDA	A4	20	2

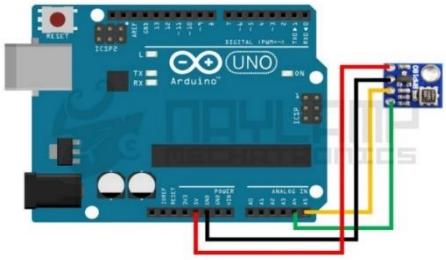


Ilustración 2. Conexiones entre Arduino y módulo BMP180.
Fuente: Propia

- **ML8511 sensor radiación solar uv**

El módulo ML8511 es un sensor de luz ultravioleta (UV), entrega una señal analógica que depende de la cantidad de luz UV que detecta. Es usado en proyectos de monitoreo de condiciones ambientales como el índice UV. El sensor ML8511 detecta luz con una longitud de onda entre 280-390nm, este rango cubre tanto al espectro UV-B como al UV-A. La salida analógica está relacionada linealmente con la intensidad UV (mW/cm2). Esta señal analógica puede ser conectada a un microcontrolador para ser convertido por un ADC y así trabajar con la medición.

Características:

- Voltaje de Operación: 5V DC
- Salida analógica
- Longitud de onda: 280-390nm
- Consumo ultra bajo de energía
- Aplicaciones Meteorológicas, cuidado de la piel, medición industrial de nivel UV.

Documentación:

- ✓ Datasheet ML8511
- ✓ Librería
- ✓ Tutorial Sparkfun
- ✓ Índice UV

- **Sensor de temperatura MLX90614**

El MLX90614 es un sensor de temperatura infrarrojo sin de contacto fabricado por la empresa Melexis. Es posible conectar estos sensores con un autómata o procesador como Arduino para medir la temperatura de un objeto a distancia.

Existen distintos modelos del MLX90614 cada uno con un sufijo de tres letras. Los diferentes sensores difieren en el voltaje de operación, el número de sensores infrarrojos, y la posición del filtro.

La comunicación se realiza a través de SMBus, un subconjunto de bus I2C, por lo que resulta sencilla su lectura, y es posible conectar más de un sensor de forma simultáneamente.

Frecuentemente se encuentran termómetros MLX90614 integrados en módulos como la GY-906 que incorporan la electrónica necesaria para conectarla de forma sencilla a un Arduino. En la mayoría de los módulos, esto incluye un regulador de voltaje que permite alimentar directamente a 5V.

Este tipo de termómetros infrarrojos tienen un gran número de aplicaciones, incluyendo sistemas de control de temperatura en instalaciones térmicas en edificios, control industrial de temperatura, detección de movimiento, y aplicaciones de salud.

COMO FUNCIONA EL MLX90614

Según la ley de Stefan-Boltzmann, todo objeto por encima del cero absoluto (ºK) emite radiación cuyo espectro es proporcional a su temperatura. El MLX90614 recoge esta radiación y su salida es una señal eléctrica proporcional a la temperatura de todos los objetos en su campo de visión.

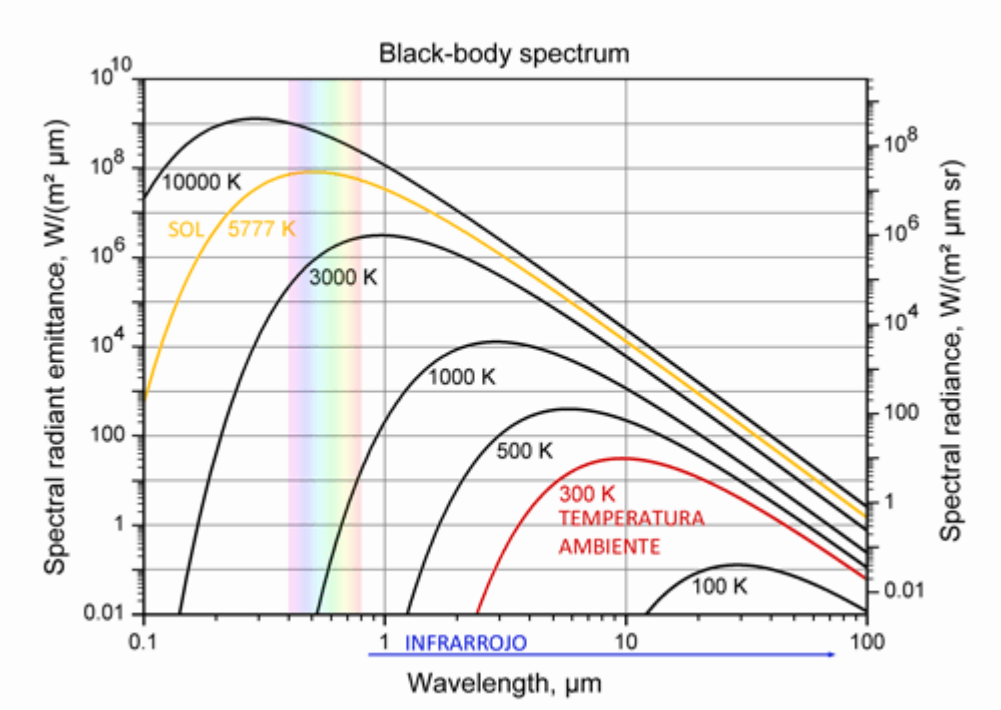


Ilustración 3. Función espectral de obtención de radiación solar del Sensor de temperatura MLX90614.
Fuente: Obtenida mediante Monitoreo e Instalación de sensores Wavelength

Internamente el MLX90614 está constituido con un chip de silicio con una fina membrana micro mecanizada sensible a la radiación infrarroja, junto con la electrónica necesaria para amplificar y digitalizar la señal y calcular la temperatura.

El conjunto incluye un amplificador de bajo ruido, un conversor ADC de 17 bits, un DSP (procesador digital de señal) y compensación de la temperatura ambiente.

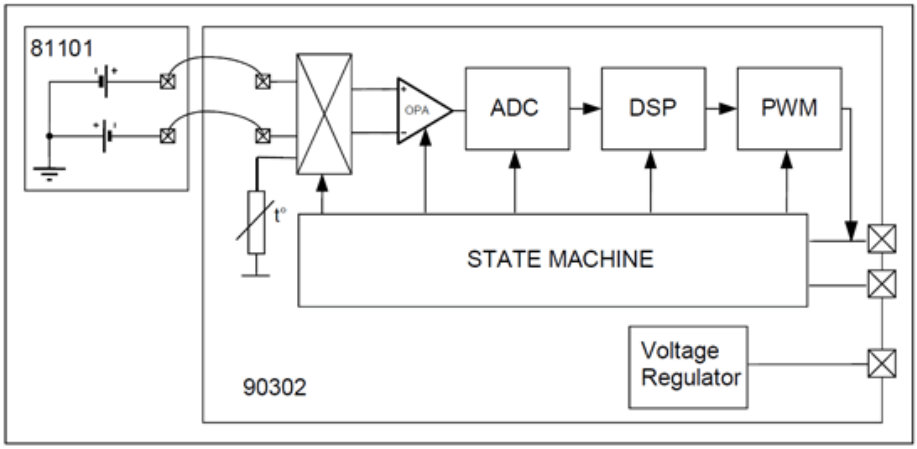


Ilustración 4. Estructura de MLX90614
Fuente: Propia, obtenida mediante Monitoreo e Instalación Wavelegth

El MLX90614 viene calibrado de fábrica en un amplio rango de temperaturas: -40 a 85 °C para la temperatura ambiente y -70 a 382 °C para la temperatura de objetos. La precisión estándar es de 0.5 °C referente a la temperatura ambiente, aunque existen versiones médicas que ofrecen una resolución de 0.1ºC en temperaturas entre 35-38ºC.

El MLX90614 dispone de dos modos de salida. La estándar es SIM Bus, un conjunto del I2C, con una resolución de 0.02ºC. También puede emplear una salida PWM de 10 bits para mediciones continuas, aunque con menor resolución 0.14ºC.

Es importante tener en cuenta la lectura del sensor solo es estable cuando el sensor se encuentra en equilibrio térmico con el ambiente. También puede afectarle la suciedad en la ventana del sensor.

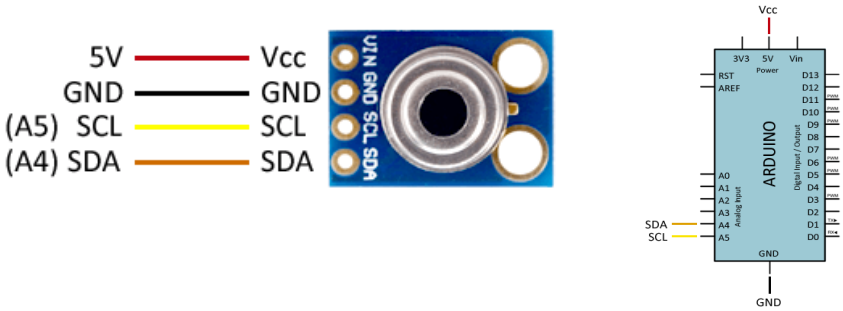
También es importante entender que el MLX90614 es sensible a todos los objetos ubicados en su campo de visión. El ángulo de visión depende del modelo, y varía desde 5º a 80ºC. En el ángulo más amplio de 80º, el área de medición a 0.5 tiene un diámetro de 0.83 metros

Es decir, los modelos de menos ángulo son apropiados para medidas puntuales en frente del sensor. Los sensores de ángulo amplio están diseñados para detectar incrementos de temperatura en una gran zona, por ejemplo, para detección de fallas en maquinaria.

ESQUEMA DE MONTAJE

La conexión es sencilla, simplemente alimentamos el módulo desde Arduino mediante GND y 5V y conectamos el pin SDA y SCL de Arduino con los pines correspondientes del sensor.

Ilustración 5. conexión vista desde el lado de Arduino.
Fuente: Propia



Capítulo 2. Metodología de Implementación

Capítulo 2. Metodología de implementación

2.1Introducción

La Universidad Nacional de Ingeniería (UNI) es una casa de estudios superiores ubicada en la cuidad de Managua, Nicaragua, estatal y autónoma. Es la primera universidad nacional que reúne en una sola casa de estudios las ingenierías existentes hasta finales del siglo pasado en Nicaragua.

En la actualidad, la población estudiantil que tiene la universidad es más de 10, 000 estudiantes de pregrado y posgrado, con 11 carreras que se distribuyen en 6 facultades y tres campus, además cuenta con doce maestrías y un amplio programa de posgrados. Cuenta con una planta de docente de más de 370 catedráticos, de los cuales el 50% tiene estudios de Master o títulos de Doctorados y el 30% son de docentes investigadores.

La UNI está localizada en la ciudad de Managua en las coordenadas 12° 7'54.67"N, 86°16'10.07"O a 106m sobre el nivel del mar, posee una superficie de 1,973m2 y un perímetro total de 132,647m.

Ilustración 6. Perímetro y Superficie de la Universidad Nacional de Ingeniería
Fuente: Google Earth

Ilustración 7. Universidad Nacional de Ingeniería
Fuente: Propia

Dentro de las instalaciones de la UNI se encuentra el edificio Rigoberto López Pérez inaugurado en el año 2013, su infraestructura cuenta con 15,000m2 de instalación con alrededor de 60 aulas y 10 mini auditorios distribuidos en 5 pisos además el edificio incorpora 1 sótano y 1 azotea.

A sus alrededores cuenta con un edificio de posgrado, oficinas administrativas, facultades y laboratorios de las diferentes carreras con las que cuenta esta casa de estudios superiores.

País	Nicaragua
Ciudad	Managua
Lugar	UNI RUSB
Latitud	12° 7'54.67"N
Longitud	86°16'10.07"O

Tabla 1. Datos de ubicación de la universidad
Fuente: waze

Temperatura (°c)	32
v. del viento(m\s)	3.2
Elevación SNM (M)	103

Tabla 2. Datos ambientales de la zona
Fuente: Google Earth

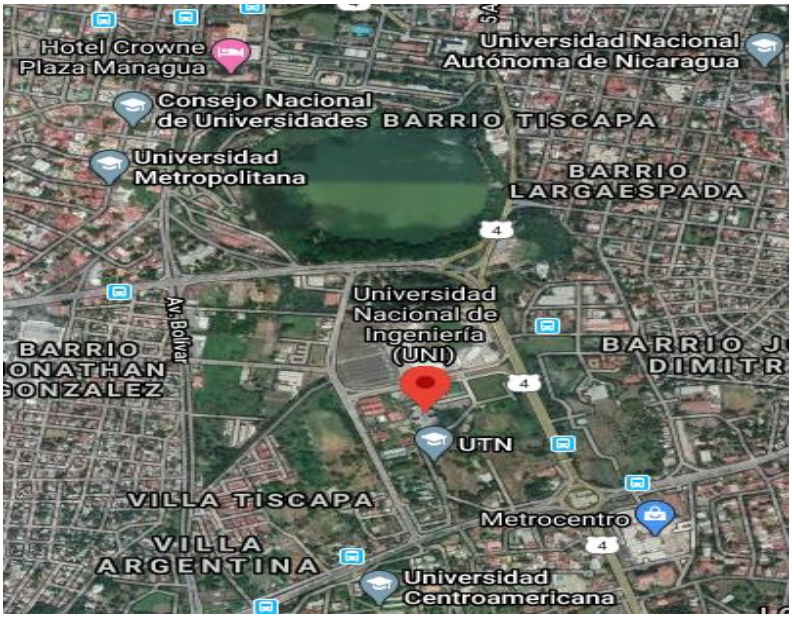


Ilustración 8. Ubicación de la Universidad Nacional de Ingeniería

Fuente: waze

Ilustración 9. Interior del laboratorio de energía renovable.
Fuente: Propia

La metodología de implementación describirá las condiciones del lugar de estudio relacionado a un sistema fotovoltaico y a la propuesta de implementación de un monitoreo continuo de dicho sistema que respalde la demanda de energía eléctrica nominal de unos de los laboratorios de la Universidad Nacional de Ingeniería.

El monitoreo continuo de este sistema fotovoltaico tendrá como prioridad determinar el comportamiento de estos sistemas de obtención de energía.

En este monitoreo implementaremos la herramienta LabVIEW, un software con equipamiento lógico que poseen los sistemas informáticos para realizar una tarea u operación. Un programa de monitoreo el cual será el encargado de realizar diversas operaciones para el análisis del comportamiento de los sistemas fotovoltaicos o fuentes alternativas de generación.

Con la implementación de esta herramienta LabVIEW, lograremos realizar comparaciones y hacer simulaciones de un sistema solar fotovoltaico, con esta implementación lograremos la determinación de factibilidad y eficiencia de producción de estos sistemas. Puesto que es una plataforma de desarrollo para diseñar sistemas con el lenguaje de programación visual gráfico con el fin de controlar, diseñar y hacer simulaciones reales.

2.2 Enfoque de investigación según objetivos.

Para la determinación del lenguaje de programación que utilizaremos, se realizará consulta a experto y revisiones bibliográficas, proyectos homólogos al que se está implementando, esto con el fin de obtener información del lenguaje y programa para diseñar la interfaz hardware que conecte a software LabVIEW y el sistema fotovoltaico.

Por otro lado, en el diseño y programación de la herramienta LabVIEW será de manera cualitativa puesto que se estudiará cual será la mejor manera para la creación lógica del programa y programarlo para que la interfaz hardware sea capaz de obtener la información analógica y convertirla a digital, para que a si el software LabVIEW pueda obtener toda la información y procesarla.

La programación y simulación se realizará con los diferentes tipos de programa de simulación como es Arduino, Proteus, LabVIEW y otros más que ayudaran a diseñar de una manera eficiente y fácil la programación de la interfaz, con el fin de obtener una guía a la hora de montar un sistema de monitoreo para estos sistemas.

Esto se podrá realizar con el estudio y la aplicación de conocimiento adquirido en las clases de programación, recopilación y revisión de información y bibliografías para la implementación del programa que diseña la interfaz correspondiente para este proyecto.

Para la recopilación de la información experimental, se creará un laboratorio con el fin de obtener los datos en tiempo real del sistema instalado, y el comportamiento de la instalación, se reunirá la información obtenida del laboratorio y se harán comparaciones de otros casos de estudios analizados en otras bibliografías.

La naturaleza de los datos será de manera cuantitativa, esto se deberá a que los datos e información la obtendremos de mediciones sistemáticas y monitoreo continuo, aplicando análisis subjetivos e individuales de la información obtenida para analizar su comportamiento del sistema fotovoltaico.

En la recopilación de datos cualitativos se consultará varias fuentes bibliográficas, citas textuales, revistas, experimentos realizados, todo esto con el fin de tener una amplia variedad de información con la cual se puedan realizar un análisis comparativo y tener conclusiones del comportamiento del sistema fotovoltaico instalado, todo está revisiones se realizará con el programa ATLAS (ATLAS. Ti 7.5).

2.3 Diagrama de flujo del procedimiento general.

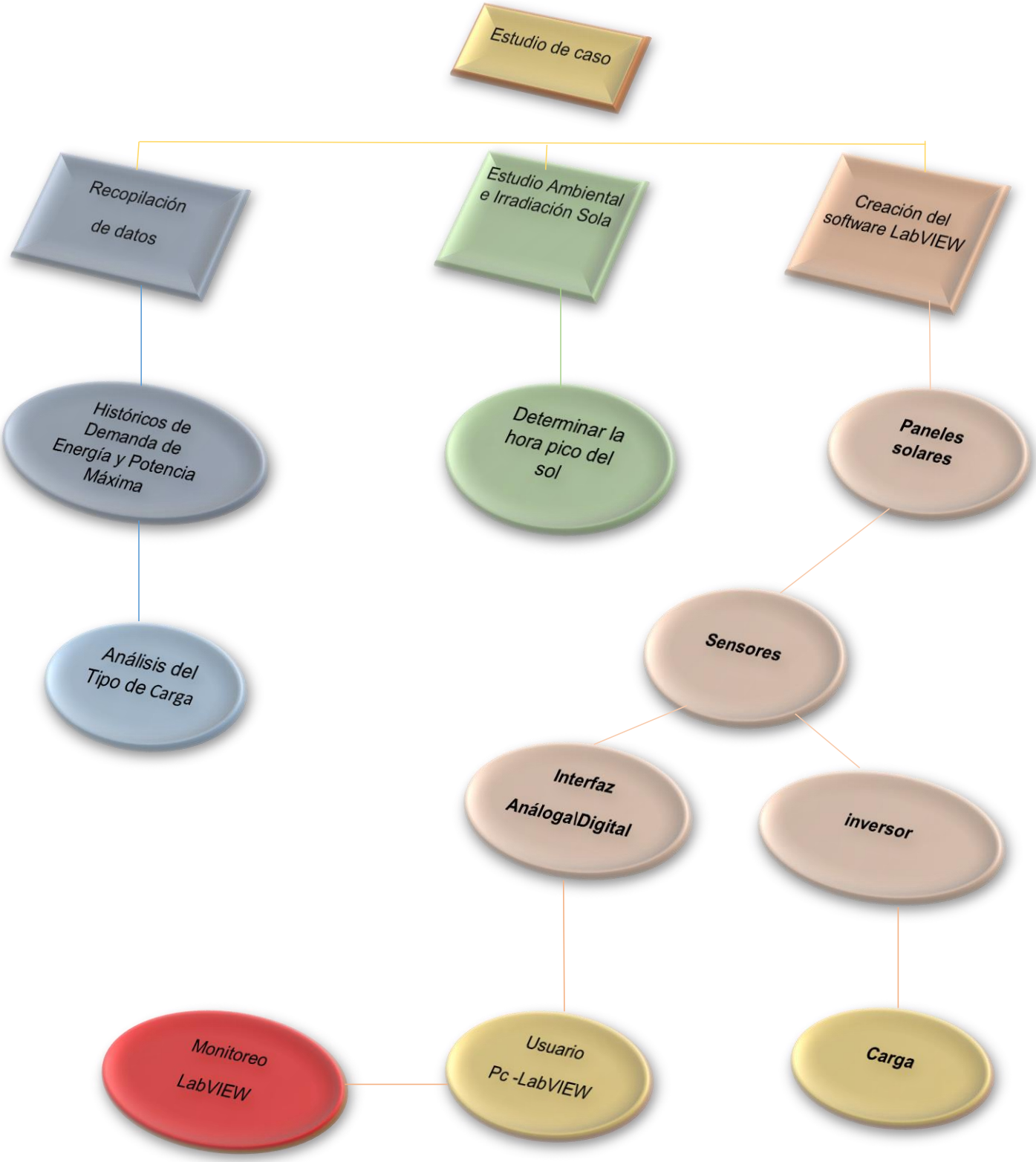


Ilustración 10. Diagrama de flujo de procedimiento del trabajo
Fuente: Propia, Obtenida de Word.

2.4 Registro y análisis de datos

En la cede RUSB de la universidad Nacional de Ingeniería se encuentra el laboratorio de energía renovable donde se encuentran 3 módulos Trina Solar TSM-250PC05A de paneles solares a instalar para el monitoreo de la producción solar, cada panel tiene la capacidad de 250W.

Ilustración 11. Módulos Trina Solar TSM-250PC05A
Fuente: Propia, obtenida en el Laboratorio de Energía Renovable

Este laboratorio cuenta con una alimentación 120\ 240 V para el funcionamiento de todos los equipos existentes en dicho laboratorio.

Temperatura (°c)	32
v. del viento(m\s)	3.2
Elevación SNM (M)	103

Ilustración 12. Registro de datos ambientales en la ubicación del laboratorio
Fuente: Propia, obtenida de Google Earth

2.4.1 Carga de iluminación

El sistema de iluminación interior del laboratorio se compone de luminarias fluorescentes con el flujo luminoso y color adecuado para el área donde se encuentra cada módulo de energía renovable.

Esta área por su orientación de enseñanza superior donde se elaboran prácticas de ingeniería eléctrica, los luxes requeridos son de 600 lux. Y la demanda de iluminación es constante en el tiempo, ya que el trabajo de convertir energía eléctrica en energía lumínica no requiere de picos de potencia y tampoco depende de elementos externos a su propósito.

2.4.2 Potencial Fotovoltaico

La radiación solar incidente en el departamento de Managua es idónea, generalmente en este departamento la radiación solar para la generación de energía es adecuada para la explotación por el método fotovoltaico durante la mayor parte del año, tomado como referencia la ubicación de la Universidad Nacional de ingeniería y el laboratorio de energía renovable longitud 12° 7'54.67"N y latitud 86°16'10.07"O el promedio anual de radiación es de 5.67 kWh\m^2\día. Tomando en cuenta que la radiación solar no es igual en todos los meses del año.

En la UNI el mes con mayor irradiación solar es entre el periodo de marzo y abril, estos meses son los que históricamente son los más calientes y con mayor influencia solar, teniendo más de 1000 W\m^2, durante verano entre la hora 11 y las 12 del día, siendo el día viernes el que presenta la mayor irradiación solar horizontal.

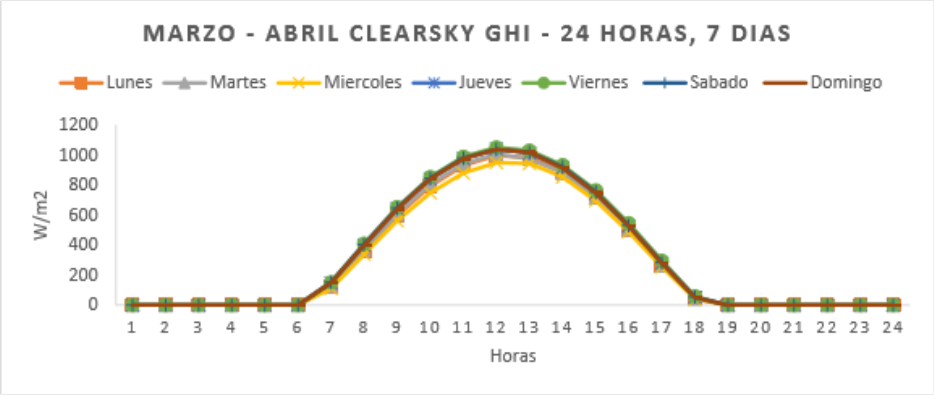


Ilustración 13. Irradiación solar global Horizontal Marzo - abril -24/7
Fuente: Propia, obtenida mediante Google Maps Académico.

Los meses de marzo y abril es donde se aprovechará el máximo de energía producida por los generadores fotovoltaicos, en los meses posteriores la irradiación solar horizontal, difusa y directa.

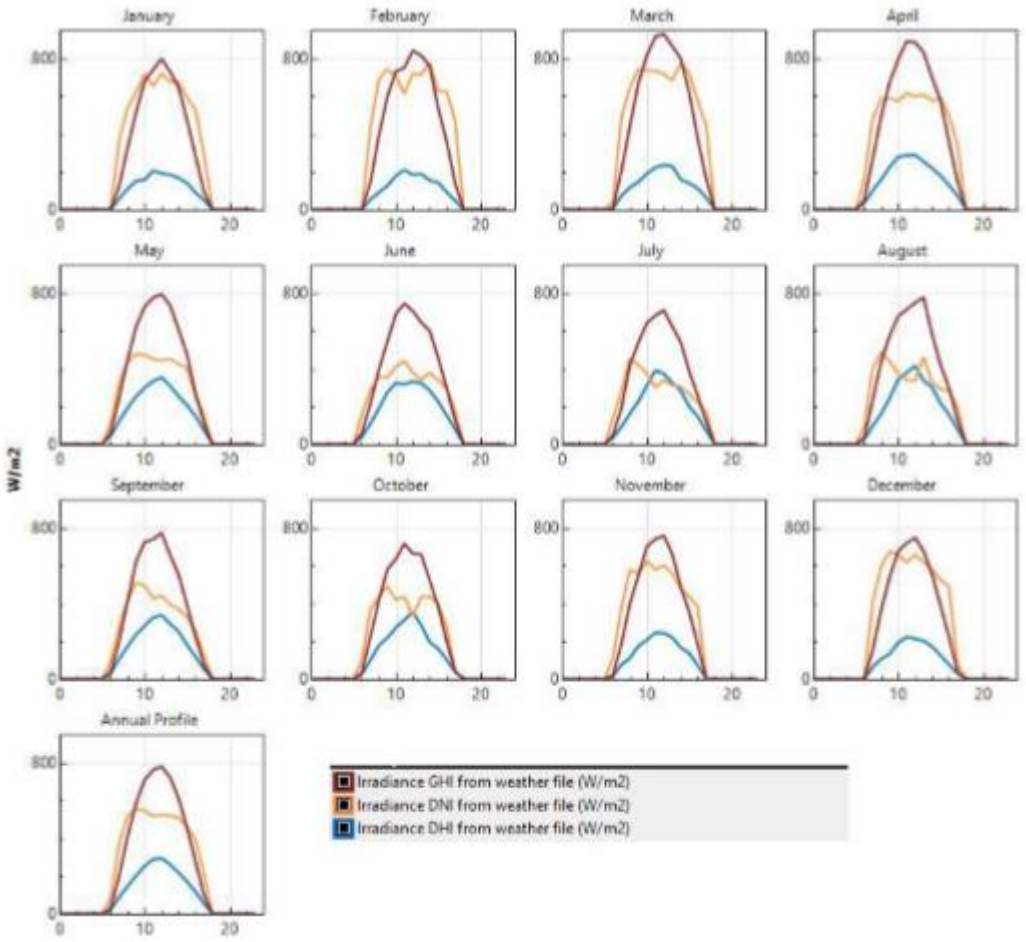


Ilustración 14. Irradiación solar en los meses del año 2019 GHI, DNI, DHI1
Fuente: Propia, obtenida mediante Google Maps Académico.

La irradiación horizontal promedio en el año es de aproximadamente 800 W/m2, sin embargo, la irradiación solar que llega a una superficie inclinada es igual a la sumatoria de la irradiación horizontal, difusa y directa, por tanto, este valor al año puede incrementar a un promedio de 1000 W/m2 (El dato exacto se estudiara en el apartado de dimensionamiento de la propuesta) resultando una ubicación idónea para la explotación de la energía renovable solar fotovoltaica.

Los gráficos y datos mostrados en este capítulo fueron extraídos desde la base de datos NREL (National Renewable Energy Laboratory) y NSRDB (National Solar Radiation Database) los cuales cuentan con datos actualizados sobre la irradiación (Horizontal, Directa y Difusa) denominado Año Meteorológico Típico (TMY por sus siglas en ingles), estos datos son procesados a cada segundo por servidores de alto rendimiento llamados Peregrine, esto hace posible que los datos extraídos para la ubicación de la Universidad Nacional de Ingeniería sea precisos y verídicos.

2.4.3 Descripción del área de instalación propuesta

El laboratorio de energía renovable en el cual se desea realizar el monitoreo de sistemas fotovoltaicos para determinar la factibilidad y comportamiento de estos sistemas, se encuentra en el costado noroeste del edificio Rigoberto López Pérez - UNI.

La zona donde está ubicado el laboratorio de energía renovable, tiene una orientación propicia para la instalación del sistema fotovoltaico, ya que idealmente los paneles solares deben tener una inclinación norte o sur para captar la mayor irradiación solar que proporcionan las horas del sol a lo largo del día.

2.5 Corrección de datos registrados de radiación.

Para este proceso se utilizó el sensor de radiación solar, el sensor DTH11 detecta luz con una longitud de onda entre 280-390nm, este rango cubre tanto al espectro UV-B como al UV-A, el cual fue conectado a un circuito para que la tarjeta de adquisición USB 6009 de LabVIEW pudiera hacer lectura de datos analógicos. Esta señal analógica puede ser conectada a un microcontrolador para ser convertido por un ADC y así trabajar con la medición.

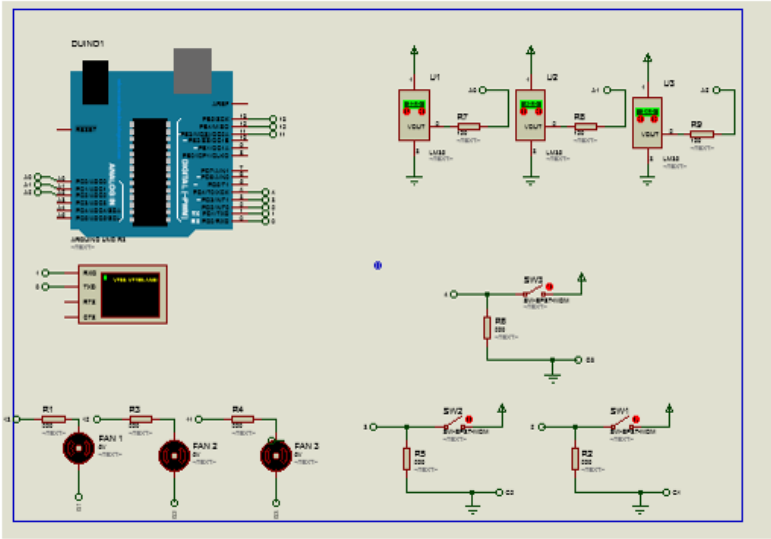


Ilustración 15. Conexión del sensor DTH11 con Arduino
Fuente: Propia, obtenida de Arduino

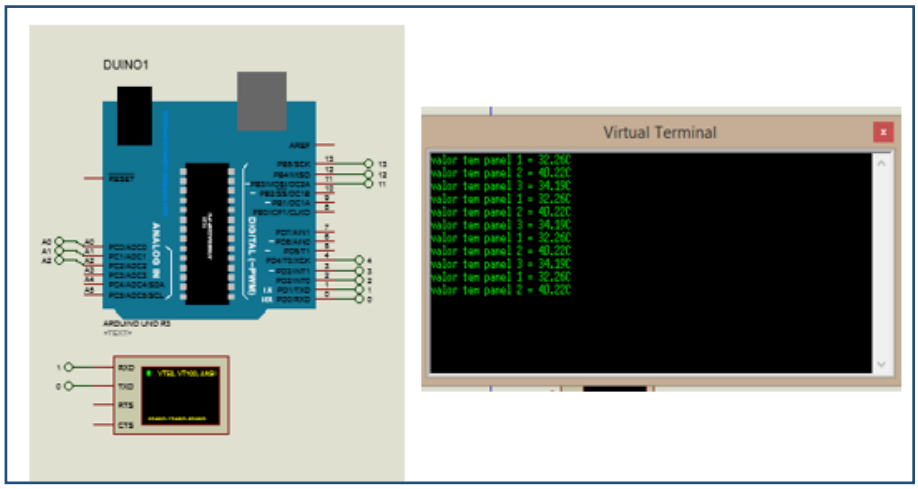


Ilustración 16. Lectura de datos de radiación solar
Fuente: Propia, obtenida de Arduino para la conexión a LabVIEW

Además del sensor de radiación solar, realizamos la conexión de los señores de humedad y temperatura (Ilustración 13), para tener un mejor monitoreo de las condiciones de generación de los paneles solares fotovoltaicos.

El programa generado mediante LabVIEW, permite visualizar en la pantalla del computador el valor de radiación capturado por el sensor de radiación, además almacena los datos registrados en un archivo Excel, lo cual facilita posteriormente su comparación con los datos de registro.

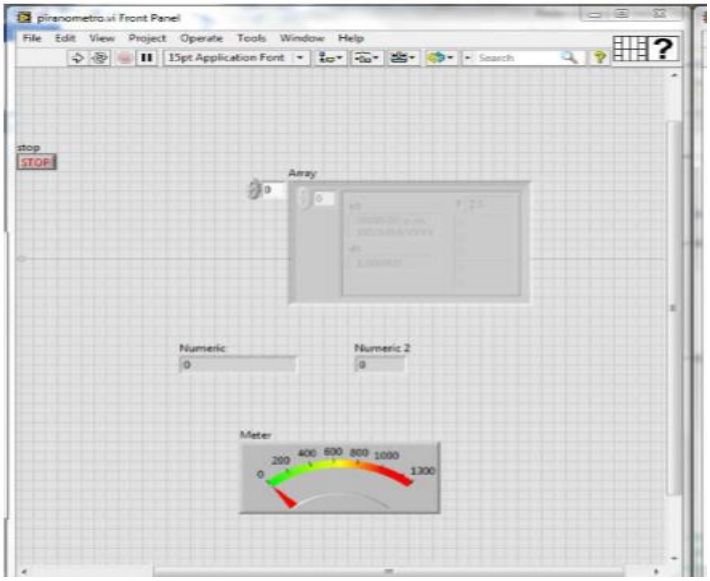


Ilustración 17. Programa LabVIEW para almacenamiento de datos.
Fuente: Propia, Obtenida mediante el software LabVIEW.

Para realizar el procedimiento de calibración se ubicaron los sensores de radiación, temperatura y humedad, con el fin de obtener mayor precisión en los resultados.

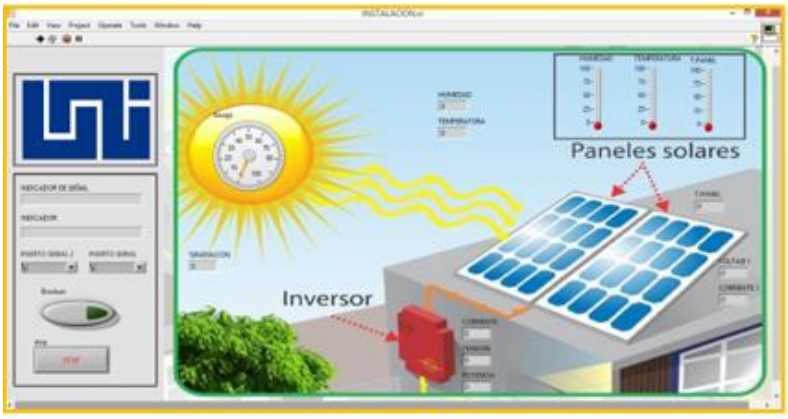


Ilustración 18. Sensores de radiación solar, humedad y temperatura.
Fuente: Propia, obtenida mediante LabVIEW.

Se procedió a realizar registro de datos en escala ascendente y descendente de forma simultánea, por medio de los sensores conectados a Arduino para que el programa LabVIEW realice base de datos y comparaciones del sistema, en un área despejada y libre de sombras en el campus de la Universidad.

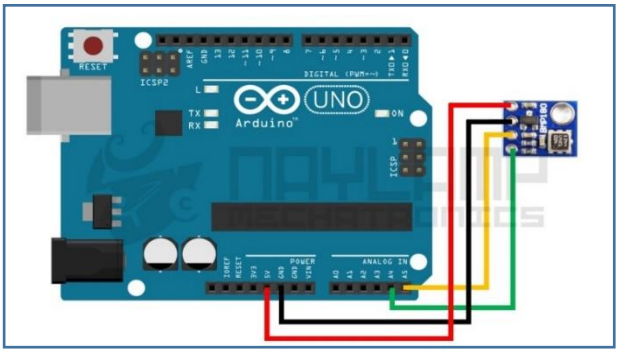


Ilustración 19. Conexiones entre Arduino y módulo BMP180
Fuente: Propia, obtenida mediante Arduino.

Posteriormente, con la información almacenada y siguiendo por el software descrito en Aspectos fundamentales para el diseño de procedimientos de calibración para laboratorios con base en la Norma NTC-ISOIEC-17025 (Llamosa et al, 2004), se busca establecer la precisión de los datos del instrumento de medida (Sensores).

Para obtener un monitoreo adecuado de todo el sistema de generación y cumplimiento de los parámetros de entrega y cubrimiento de la demanda, se creó el programa en LabVIEW de conexiones de equipos del sistema para el monitoreo continuo con estudio de bases de datos en tiempo real.

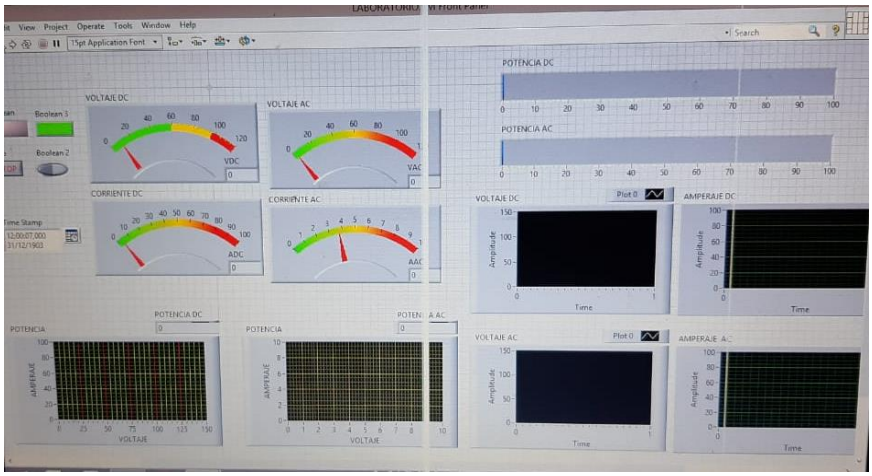


Ilustración 20. Programa en LabVIEW de conexiones de paneles fotovoltaicos para el monitoreo y registro de datos.
Fuente: Propia, obtenida mediante LabVIEW

Para el monitoreo continuo y la recopilación de datos, se realizó la conexión y programación a través del software LabVIEW donde se visualiza un arreglo programado para un monitoreo del sistema solar fotovoltaico.

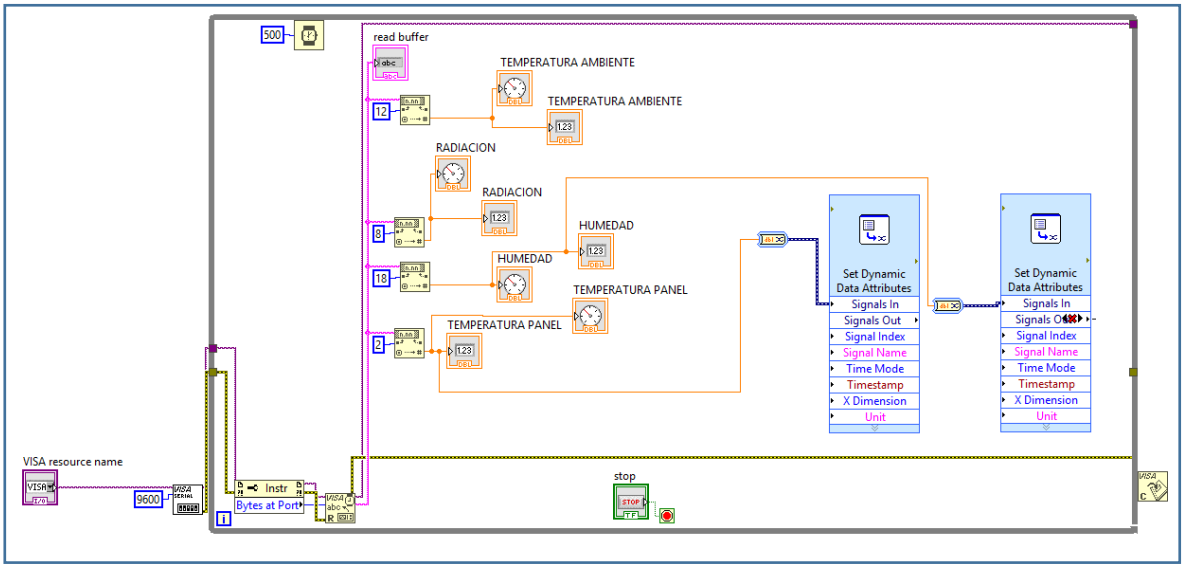


Ilustración 21. Arreglo de monitoreo programado LabVIEW
Fuente: propia, Obtenida mediante LabVIEW

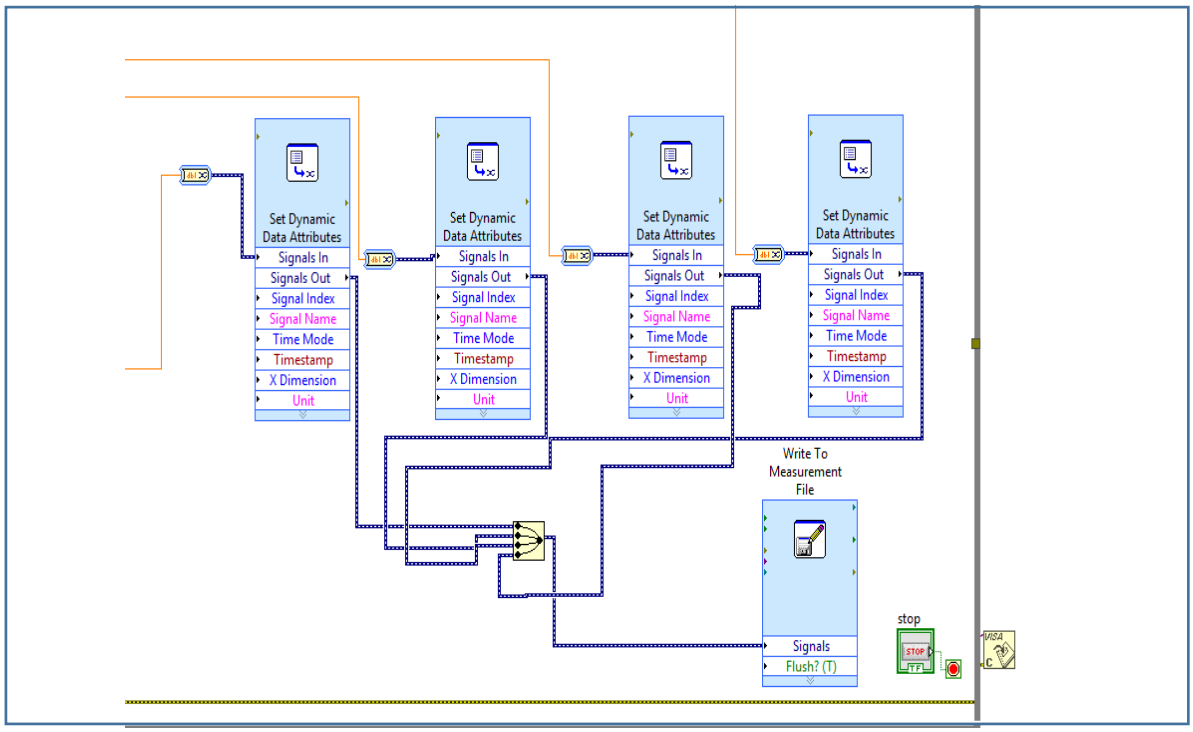


Ilustración 22. Arreglo Set Dynami, data atributes- LabVIEW
Fuente: Propia, Obtenida mediante LabVIEW

Capítulo 3. Diseño del Sistema Solar Fotovoltaico

Capítulo 3. Diseño del Sistema Solar Fotovoltaico

El sistema solar fotovoltaico se desarrolla teniendo en cuenta que esta tecnología es una de las fuentes de energía más apropiadas para llevar electricidad al medio rural, en razón a sus propiedades de modularidad y autonomía, adicionalmente al tener bajo mantenimiento y no ser contaminante (Egido, 2006), hoy con costos decrecientes por un uso más extendido.

Así mismo debido a que es una fuente de electricidad confiable, de fácil instalación y con una vida útil larga, lo cual permite aprovechar los recursos de la zona, sin generar ruido que pueda perturbar el ambiente académico y donde las posibilidades de que los niños puedan acceder al sistema son reducidas.

El diseño del sistema solar fotovoltaico básicamente consta de los elementos indicados en la ilustración 22. Comienza con los paneles solares sobre los que incide luz solar para convertirla en electricidad, el regulador evita sobrecargas y la reducción de la vida útil de las baterías, estas a su vez, son las encargadas de acumular la energía generada para ser empleada en periodos de poca o nula radiación y de donde se alimenta la carga; el inversor que suministra la electricidad a los artefactos en corriente alterna AC.

Cuando las necesidades eléctricas son mínimas se recomienda un sistema DC, pero cuando los requerimientos incluyen bombas de agua u otro tipo de electrodoméstico, es preferible un sistema fotovoltaico en AC. Teniendo como característica sobresaliente para elegir este modelo, que es más fácil adquirir comercialmente equipos a 110 V que reemplazar equipos DC, por lo tanto, aunque existe un incremento de costos por el uso del inversor, también existe un ahorro de tiempo y dinero en la adquisición de los utensilios domésticos (Joachín, 2008).

En este diseño no se calcularon cargas en corriente directa, con lo cual, toda la energía almacenada es transformada por el inversor en corriente alterna, para ser utilizada por la carga. Los cálculos empleados a continuación se basan principalmente en (Nina, 2011), (Ortega, 2001) y (Alonso, 2014).

Ilustración 23. Diagrama de bloques de la instalación del sistema fotovoltaico
Fuente: Propia, obtenida mediante Publisher.

Para que el dimensionamiento del sistema solar fotovoltaico autónomo cumpla con los requerimientos del proyecto, debe basarse en los principios básicos (Alonso, 2014):

- Capacidad del diseño suficiente para garantizar que la producción del generador fotovoltaico sea igual al consumo en valores promedio.

- El abastecimiento del banco de baterías pueda proveer el consumo para cuando no brille el sol durante un cierto número de días estimado según las condiciones del sitio de la instalación.

Lo anterior requiere calcular el consumo de la carga prevista y la capacidad de las baterías de acuerdo con la radiación solar disponible en el lugar y captada por el sistema fotovoltaico, además de la selección apropiada del regulador de carga y el inversor, así como el dimensionamiento del cableado y de las protecciones de todo el sistema.

Para el propósito existen varios métodos recomendados, desde los más sencillos hasta unos que se apoyan en software especializado. Sin embargo, la variabilidad permanente del recurso solar introduce bastante incertidumbre en los resultados finales del diseño en operación, así como incidencia importante de pérdidas en los varios componentes que reducen la eficacia del sistema solar; donde el fin del diseño es optimizar la respuesta de los elementos de acuerdo a las variadas condiciones.

Otro aspecto adicional a tener en cuenta es que, en las aplicaciones de sistemas solares en el trópico, por sus condiciones de variaciones solares no tan marcadas, los cálculos son menos exigentes en cuanto a posicionamiento de los colectores que puede hacerse más complicada para otras latitudes.

A continuación, se detallan cada uno de los pasos indicados para el dimensionamiento del sistema solar más apropiado para las necesidades básicas previstas para el laboratorio de energía renovable.

3.1 Estimación del consumo de energía eléctrica

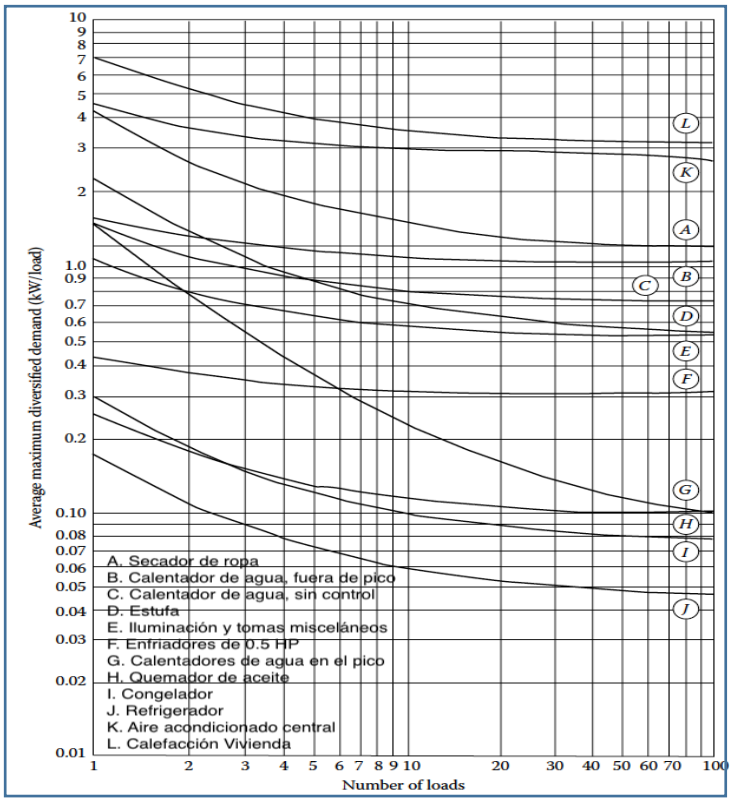
La carga eléctrica consumida por el laboratorio se registra mediante visitas técnicas, para investigar las características, consumos, forma de operación y tiempo de funcionamiento de cada uno de los equipos.

Equipos	Operación	Potencia	Energía
Eléctricos	(h\ día)	(w\h)	(wh\ día)
aire acondicionado	5	34	170
lámparas	5	14	630
equipos varios	3	19	342
		67	1142

Tabla 3. Consumo eléctrico del laboratorio.
Fuente: Propia, obtenida mediante censo de carga en el laboratorio.

Sin embargo, la carga eléctrica establecida por el sistema solar fotovoltaico a diseñar, se tomó como la mínima básica para asegurar la operación del laboratorio.

La metodología utilizada en esta estimación de consumo de energía es determinada con las gráficas de variación horaria de consumo de cada aparato eléctrico por el tiempo que están demandando energía.



Grafica 1. curva de variación horaria de los aparatos eléctricos.
Fuente: características demandas máxima diversificada de aparatos eléctricos

Tomamos la gráfica E para tomas corrientes e iluminación a como se ilustra en la gráfica. También, consideramos aire acondicionado con la gráfica k, inversor con la gráfica C por lo que este aparato no demanda energía constante.

Todas estas consideraciones las hicimos gracias a la información del Ministerio de Minas y Energía de Perú. Así como, es como estimamos la demanda de cada equipo presente en el laboratorio de energía renovable.

Para el diseño propuesto se estima una eficiencia en la inversión AC-DC del 83 %, de tal manera que el factor de eficiencia en la inversión F_{ac-dc} es:

$$F_{ac-dc}: 1{,}2$$

La energía diaria en DC demandada de los paneles solares E_{dc}, es dada por el factor de inversión F_{ac-dc} y la carga estimada en AC E_{ac}:

$$E_{dc} = F_{ac-dc} * E_{ac} \quad (1)$$

entonces:

E_{dc}= 1,2 * 1,142 Wh\día

E_{dc}= 1,340Wh\ día

3.2 Dimensionamiento del subsistema de generación

Se anota que el módulo solar presenta un comportamiento variable por los cambios continuos de la radiación solar y por su respuesta de acuerdo a las características eléctricas (curva I-V) del panel especificadas por el fabricante, donde se definen valores óptimos de operación. Es así como el voltaje indicado de 24 V es un valor de referencia para todos los componentes del sistema y para parte de los cálculos, valor que se denomina nominal del sistema. En la modelación hecha con LabVIEW, dentro de los requisitos del diseño del modelo, se aprecia el comportamiento del sistema en cuanto a voltajes y corrientes para condiciones específicas de operación del sistema solar.

El principal componente del modelo solar son los paneles fotovoltaicos ya que generan la electricidad requerida, existiendo una amplia gama en oferta comercial, debiendo seleccionarse principalmente en base a garantía, servicio de respaldo, marca reconocida y sus características acordes con la operación que se demandará del sistema.

El tamaño o capacidad de generación de los módulos fotovoltaicos, se determina de acuerdo a las horas de brillo solar disponibles. Esto, se expresa en cantidad de energía, dado por un número equivalente en horas de brillo solar a la máxima potencia de irradiación posible, esto es, 1 000 W/m2, valor que se denomina Horas Solar Pico (HSP).

Para el laboratorio de energías renovables, según las mediciones de radiación solar efectuadas, se calculó el promedio total del año mes a mes del valor promediado de radiación solar de un día, obteniéndose:

$$HSP = 3h \quad (2)$$

Por la definición de HSP, nótese que este valor corresponde en cifra a la cantidad de energía de 3,0 kWh/m2 - día. También se observa que es usual tomar como HSP el valor promedio diario del mes de más baja radiación solar, especialmente en localidades de mayor latitud, donde la irradiación solar recibida en los meses invernales baja sustancialmente en intensidad y duración, situación que no es tan marcada en la zona tropical.

Se aprecian diferencias debidas más al régimen de lluvias por la alta nubosidad que generalmente las acompaña. En dichas regiones fuera del trópico también se vuelve

crítico el ángulo de inclinación que debe darse a los paneles para captar el máximo de radiación.

En cuanto a la calidad y respuesta de los paneles solares, el material de las celdas fotovoltaicas juega un papel muy importante. El efecto fotovoltaico se produce en sustancias cristalinas semiconductoras, cuya conductividad puede ser modificada por medio del dopado con cantidades muy pequeñas de otro material, y al incidir los fotones de luz generan una corriente eléctrica con cargas negativas, positivas o ambas. Dentro de los tipos de celdas más destacadas se encuentran las de silicio (mono y poli cristalino), de silicio amorfo, los semiconductores II-VI y los semiconductores III-V (Pereda, 2005).

Las celdas solares de silicio mono y policristalino, son las más producidas industrialmente, en las cuales las pérdidas por reflexión superficial se disminuyen aplicando capas antirreflejo y texturizando la superficie del módulo (Pereda, 2005). En el presente diseño se eligen paneles solares de tipo monocristalino, debido a que este material proporciona un rendimiento energético más alto (REDFE, 2014) y una mayor duración respecto a los módulos que emplean otro tipo de materiales (Fernández, 2009). Las celdas de silicio monocristalino son las más usadas a nivel mundial, en parte debido a que gran porción de la industria electrónica se ha montado alrededor del silicio, y aunque este material no se encuentra en estado puro, es el segundo material más abundante en la Tierra (Joachín, 2008).

Se consideran paneles solares marca módulos Trina Solar TSM-250PC05A de tipo monocristalinos, recomendados para aplicaciones domesticas sobre tejados; que como la nomenclatura de su nombre indica, está diseñado para una potencia máxima P_{ref} y voltaje nominal (o de referencia) V_{ref}:

$$P\,ref: 250W$$

$$Vref: 24\,V$$

Es oportuno anotar que el voltaje nominal de 24 V escogido para el panel solar corresponde a un valor de referencia, igual para el resto del sistema en su parte DC, pero que generalmente no es el de operación, como tampoco genera la potencia máxima nominal. La potencia que entrega varía casi constantemente con la radiación solar incidente y de acuerdo a respuesta eléctrica del panel según su característica I-V (intensidad - voltaje) que suministra cada fabricante, resultantes de mediciones rigurosas hechas en condiciones estándar del laboratorio.

Así cada modelo de panel presenta en sus especificaciones valores máximos de corriente (la de corto-circuito$I_{cs\,ref}$, para el modelo escogido), y máximo de tensión (voltaje de circuito abierto $v_{oc\,ref}$, valores que sin carga se medirían (con amperímetro y voltímetro, respectivamente, conectados uno a la vez) a los terminales del panel con la irradiación máxima.

$$I(cs\ ref): 8.79\ A$$

$$V(oc\ ref): 38.0\ V$$

Los paneles solares tienen la ventaja de mantener valores de corriente casi constantes para un amplio rango de tensiones de operación, en este caso y para máxima irradiación, cercana al valor de corriente de corto circuito $I(cs\ ref): 8.79\ A$.

En la práctica en sistemas autónomos, la tensión y corriente de operación, $I_{cs\,ref}$, y $v_{oc\,ref}$ respectivamente, dentro de los límites dados y para un cierto valor de radiación solar, viene determinada más por el módulo regulador/cargador de las baterías, pues es el que se encarga de hacer los ajustes necesarios, por medio de circuitos lógicos, para optimizar la operación del banco de acumulación, según el tipo de éstas, para mayor confiabilidad y duración.

Las baterías responden a la demanda de la carga, lo cual establece la condición de descarga y la respuesta casi instantánea del regulador para iniciar un ciclo relativamente complejo de recarga de los acumuladores que se realizan con variaciones de voltaje demandado de los paneles (como puede verse en un manual de regulador, por ejemplo, en el de la marca Atersa, en www.atersa.com, de España; modelo L-10, de voltaje nominal 24 V, opera el ciclo de baterías entre 24,6 V y máximo de 30,4 V, desconectando los acumuladores del panel cuando el voltaje baja de 23,2 V, esto es, cuando la irradiación solar baja mucho o de noche).

Según la radiación que esté recibiendo el módulo solar en un momento dado, este responde a la demanda de voltaje del regulador con la corriente correspondiente a la potencia que esté generando.

Los valores demandados por el regulador pueden ajustarse por el operador para optimizar funcionamiento, pero generalmente se recomienda mantener los valores introducidos por el fabricante. Hay reguladores modernos que ajustan automáticamente sus valores de operación tratando de mantener un punto óptimo para conseguir la máxima transferencia de energía de los paneles a las baterías.

En el modelo desarrollado con los valores dentro de los requisitos del diseño, se aprecia el comportamiento del sistema en cuanto a voltajes y corrientes para condiciones específicas de operación del sistema solar.

El número de módulos solares fotovoltaicos NP, necesarios para generar la energía requerida, se establece por medio de la expresión descrita a continuación (Alonso, 2014), donde se toma el número entero superior más próximo al valor dado por la relación entre: La energía promedio diaria requerida por la carga eléctrica E_{dc} la potencia máxima del módulo fotovoltaico P_{ref}, las horas de sol pico HSP y el factor de pérdidas n_d, que incluye pérdidas por conexionado, dispersión de parámetros y por operación de los paneles fuera del punto de máxima potencia (usualmente se toma como un 25%).

$$NP = \frac{E_{dc}}{P_{ref} * HSP * (1 - \eta_d)} \quad (3)$$

$$NP = \frac{1{,}340}{(250)(3)(0.75)}$$

$$NP = 2.38 \approx 3$$

Por lo que se asume un número de tres paneles fotovoltaicos; Siendo iguales las tensiones nominales (en 24 V) tanto de los módulos solares como del sistema DC, los paneles deben conectarse en parales.

3.3 Dimensionamiento del subsistema de acumulación.

El banco de acumulación se diseña teniendo en cuenta que, en las aplicaciones de sistemas solares, las baterías deben mantener la corriente durante horas y generalmente están siendo cargadas o descargadas, por lo cual los periodos de reposo son casi nulos (Martínez, 2011).

Se eligen acumuladores de plomo ácido, debido a que son de larga duración y las condiciones de mantenimientos son bajas (Martínez, 2011). Estas baterías son uno de los sistemas de almacenamiento de energía electroquímica ampliamente usados, esto se puede atribuir a sus propiedades químicas y físicas que lo convierte en un sistema eficiente y adecuado para una variedad de aplicaciones. Los reactivos son sólidos de baja solubilidad, provocan una tensión estable y reacciones altamente reversibles, adicionalmente esta tecnología es relativamente económica (Tammineedi, 2011).

En el diseño del banco de acumulación se consideran cuatro días de reserva, debido a que el laboratorio se encuentra en un sector con bastante nubosidad según los registros de radiación.

$$N_{D\,=}\, 4\ dias$$

Se determina la capacidad del banco de baterías Q_E , con la carga total diaria estimada E_T y los días de reserva N_D

$$Q_B = E_T * N_D \quad (4)$$

$$Q_B = 68{,}4\ \frac{Ah}{día} * 4\ dias$$

$$Q_B = 273{,}6\ Ah$$

Para evitar descargas profundas en el acumulador y que esto reduzca su vida útil, se estipula una profundidad de descarga máxima Q_{MAX} del 50 %.

$$Q_{max} = 0{,}5$$

Por lo tanto, la capacidad total del sistema de baterías Q_T, es establecida por la capacidad del banco de acumulación Q_B, considerando la profundidad de descarga Q_{MAX}

$$Q_T = \frac{Q_B}{Q_{max}} \quad (5)$$

$$Q_T = \frac{273{,}6\ Ah}{0{,}5}$$

$$Q_T = 547\ Ah$$

Donde debido a que el sistema de tensión nominal es de 24 V y se plantea el uso de baterías de 12 V, esto exige conectarlas en grupos de a dos en serie, con el número de parejas en paralelo que se requiera para la capacidad Q_T.

3.4 Dimensionamiento del Regulador-Inversor

Para que el Regulador - Inversor pueda manejar la potencia requerida por la carga sin forzar el equipo, la capacidad de este P_{reg}, debe ser mayor que la potencia máxima de la carga en AC P_{ac-max}(como margen de seguridad).

$$P_{reg} > P_{ac,max}$$

$$P_{reg} > 265\ W$$

Se considera un rango adicional mucho mayor, con el fin de que en caso que el usuario quisiera ampliar la carga el sistema (en una fase posterior a la implementación del modelo), este pueda responder a ese requerimiento extra. Por lo tanto, se estima la potencia del Regulador inversor P_{reg},como:

$$P_{reg} = 500\ W$$

3.5 Generalidades del sistema solar fotovoltaico diseñado

Como se menciona en el diseño del subsistema de generación, la conexión ente los módulos fotovoltaicos se hace en paralelo, manteniendo de esta forma el voltaje y sumando la potencia de generación de cada uno de los tres paneles formando una matriz fotovoltaica equivalente a 750 W con una corriente óptima de 20 A, para un voltaje óptimo de 35,2 V, según las características dadas del panel solar.

Para obtener la capacidad diseñada de acumulación, 547 Ah a 24 V, se tiene en cuenta que cuando un sistema solar fotovoltaico requiere más de una batería, es necesario realizar con estas una configuración serie y/o paralelo, en donde los acumuladores deben ser del mismo tipo, con la misma capacidad e idéntico potencial eléctrico (UPME, 2003).

Por lo tanto, para este caso que requiere una capacidad total del banco de baterías de 547 Ah, se consideran cuatro acumuladores de plomo ácido, marca CSPOWER/OEM, modelo CG12-300, cada uno con una capacidad 300 Ah a 12 V, los cuales deben estar en configuración serie-paralelo para lograr la capacidad indicada y el voltaje nominal. Así, se conectarían dos grupos en paralelo, cada grupo de a dos baterías en serie, para una acumulación máxima de 600 Ah. Se indican baterías plomo-ácido por ser las más comerciales, encontrando en el marcado tanto especiales para sistemas solares, o comunes (para vehículos y otros usos), las primeras de más durabilidad y mayor profundidad de descarga, pero más costosas, y las segundas, de menor durabilidad, pero a menor costo inicial.

La batería seleccionada presenta máxima durabilidad con profundidad de descarga del 50 %, valor previsto en este diseño.

En la Tabla 4 se muestran las características de los elementos requeridos para el sistema solar fotovoltaico de acuerdo al diseño aquí calculado. Cabe mencionar que, dado que es un sistema autónomo, los excesos de potencia son aprovechados únicamente para cargar completamente las baterías, limitadas por el controlador de carga; con lo cual permitiría, en dado caso que se requiera, un mayor número de horas de operación del sistema de reserva.

En los momentos a pleno sol y que las baterías estén con carga completa y sin consumo, dicho exceso de potencia no tendría uso, siendo disipado en una resistencia prevista para el caso, o simplemente el regulador corta el suministro de potencia desde los paneles al detectar excesos.

Cantidad	Equipo	Descripcion
3	Modulo solar fotovoltaico monocristalino	250W - 24V
4	Baterias de plomo acido	300Ah - 12V
1	Regulador-Inverosr	500W 24V DC - 120V AC

Tabla 4. Elementos del sistema solar diseñado
Fuente: Propia, obtenida mediante Excel.

Al sistema eléctrico diseñado de acuerdo a la Guía de especificaciones de sistemas fotovoltaicos (UPME, 2003) y a la Norma técnica universal para sistemas fotovoltaicos domésticos (Instituto de energía solar, 2001), se deben aplicar protecciones tanto en las líneas de generación fotovoltaica, como en la de carga, con el fin de proteger los acumuladores y el regulador contra sobre corrientes y corrientes de cortocircuito, por medio de fusibles, diodos e interruptores de disparo.

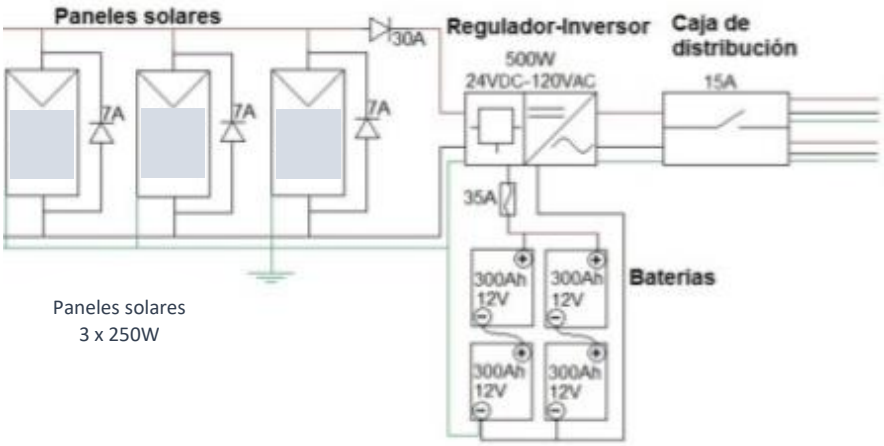


Ilustración 24. Plano eléctrico del diseño propuesto
Fuente: Propia, elaborada con Publisher.

Para elegir dichos elementos, la corriente máxima de operación necesita estar en un rango del 50 al 80% de la capacidad nominal del dispositivo de protección (Instituto de energía solar, 2001).

En el caso de los paneles solares, previendo las corrientes inversas, se estiman diodos de 7 A debido a que la corriente de corto circuito para cada módulo $I_{cs\,ref}$ es de 5,2 A. Para todo el conjunto de la matriz fotovoltaica se establece un diodo de protección con una capacidad de 30 A, la cual es establecida en relación a la corriente pico I_p 22,8 A.

Entre el Regulador - Inversor y la batería se estima un fusible de protección por sobre corriente, con un valor de 35 A, en relación a que la corriente máxima durante la fase de carga del acumulador es 27,3 A (de acuerdo al valor calculado posteriormente en el modelado para cada celda de la batería I_{max}).

Antes de la carga, en la caja de distribución se consideran interruptores magnetotérmicos de 15 A, debido a que la corriente máxima es de 11 A (dada por la potencia máxima en AC P_{ac-max}, y al voltaje de operación del sistema); adicionalmente este tipo de protección permite efectuar una interrupción manual del fluido eléctrico, adecuada para en caso de presentarse una sobrecarga (Instituto de Energía Solar, 2001).

En este diseño, se considera emplear en el laboratorio dos pequeñas líneas de cableado nuevo de tres líneas de cobre aisladas (línea viva, neutro y tierra para los circuitos AC, y dos líneas positiva y negativa para la conexión del banco de baterías en DC) para tramos estimados entre 3 y 15 metros y de esta forma asegurar que el estado del cable y de la puesta a tierra para los equipos sea adecuado, además, con calibres que limiten las pérdidas, preferiblemente por debajo del 3 % (caída de voltaje). Con este fin se consideran: línea desde los paneles a la caja de conexión en cable No. 10 AWG, siendo recomendado llevarlo desde cada panel hasta la caja de distribución (evitando empates); cable No. 6 AWG para la conexión del regulador a las baterías, y No. 12 AWG para los circuitos en AC.

3.6 Dimensionamiento del sistema de puesta a tierra

De acuerdo a la Norma colombiana NTC 2050 y la guía de especificaciones de sistemas fotovoltaicos, la conexión a tierra para sistemas de bajo voltaje (30 VDC o menos) no es obligatoria, pero se considera necesaria y recomendable en aplicaciones solares fotovoltaicas (UPME, 2003).

Para un adecuado diseño de puesta a tierra, es necesario tener en cuenta la conductividad del terreno, debido a que es un factor importante en el comportamiento de los electrodos de tierra (Morales, 1999). Por lo tanto, en este proyecto se considera una resistividad adecuada del terreno menor a 50 ΩG.

Sin embargo, para asegurar baja resistividad y buen contacto con el terreno se recomienda construir un pequeño foso o zanja de no más de un metro de profundidad y 30 cm de diámetro alrededor de la varilla, rellenándola con sustancia salina especial o suelo artificial de nombre favigel o hidrosolta (Casas, 1998).

Para sistemas solares fotovoltaicos el electrodo de tierra debe ser una varilla de metal, idealmente cobre, con un diámetro de mínimo 1,8 cm y una longitud que le permita entrar al menos 2,5 m por debajo de la superficie del piso (UPME, 2003), habiéndose tomado así para este diseño.

Para garantizar que el sistema de puesta a tierra no alcance voltajes elevados que puedan afectar la instalación en el momento en que la misma esté disipando energía, se debe mantener una separación entre el electrodo de pica y la edificación, distancia que depende de la intensidad y la resistividad del terreno, en este caso como la intensidad del sistema es menor a 60 A, y la resistividad del suelo es inferior a 60Ω m, la separación requerida es de 1 m (Martínez, 2001).

Ilustración 25. Diseño de puesta a tierra
Fuente: Propia, obtenida de Publisher.

3.6.1 Sistema de puesta a tierra.

Un sistema de conexión a tierra debe instalarse de manera que limite el efecto de los gradientes de potencial de tierra a niveles de voltaje y corriente que no pongan en peligro la seguridad de las personas o equipos en condiciones normales y condiciones de fallo. El sistema también debe garantizar la continuidad del servicio. En la discusión que sigue, se supone que el sistema de electrodos de tierra tiene la forma de una rejilla de Conductores enterrados horizontalmente, complementados por una serie de varillas de tierra verticales conectadas a la red. Estas son algunas de las razones para usar un sistema combinado de varillas verticales y conductores horizontales:

Si la magnitud de la corriente disipada en la tierra es alta, rara vez es posible instalar una red con resistencia tan baja como para asegurar que el aumento del potencial de tierra no genere gradientes de superficie Inseguro para el contacto humano. Entonces, el peligro puede ser eliminado solo por el control de los potenciales locales A través de toda el área. Un sistema que combina una rejilla horizontal y un número de suelo vertical. Las varillas que penetran en los suelos inferiores tienen las siguientes ventajas:

- Mientras que los conductores horizontales (rejilla) son más efectivos para reducir el peligro de pasos altos y Tensiones de contacto en la superficie de la tierra, siempre que la red se instale en una profundidad poco profunda. [por lo general, 0,3–0,5 m (12–18 pulg.) por debajo del nivel del suelo], las varillas de tierra suficientemente largas estabilizarán el rendimiento de tal sistema combinado. Para muchas instalaciones esto es importante porque la congelación o el secado de las capas superiores del suelo podría variar la resistividad del suelo con las estaciones, mientras que las resistividades de las capas inferiores del suelo se mantienen casi constantes.

- Las varillas que penetran en el suelo de menor resistividad son mucho más efectivas para disipar las corrientes de falla siempre que se encuentre un suelo de dos capas o de varias capas y la capa superior del suelo tenga una mayor resistividad que las capas inferiores.
- Si las varillas se instalan predominantemente a lo largo del perímetro de la rejilla en un suelo alto a bajo o uniforme en las condiciones, las varillas moderarán considerablemente el pronunciado aumento del gradiente de superficie cerca de Las mallas periféricas. Estos detalles son pertinentes. Al uso de métodos simplificados para determinar el gradiente de voltaje en la superficie de la tierra.

3.6.1.1 Tener en cuenta al diseñar redes de puesta a tierra los siguientes aspectos básicos.

- Un bucle conductor continuo debe rodear el perímetro para encerrar tanta área como sea práctico. Esta medida ayuda a evitar una alta concentración de corriente y, por lo tanto, altos gradientes tanto en la cuadrícula Zona y cerca de

los extremos del cable de proyección. Encerrar más área también reduce la resistencia de la rejilla de puesta a tierra.

- Dentro del bucle, los conductores se colocan típicamente en líneas paralelas y, cuando sea práctico, a lo largo de las estructuras o filas de equipos para proporcionar conexiones a tierra cortas.
- Un sistema de red típico para una subestación puede incluir conductores de cobre desnudo 4/0 enterrados de 0,3 a 0,5 m (12–18 pulg.) Debajo del nivel, con una separación de 3–7 m (10–20 pies), en un patrón de cuadrícula. En las conexiones cruzadas, la conductora estaría firmemente unidos entre sí. Las varillas de tierra pueden estar en las esquinas de la rejilla y en la unión Puntos a lo largo del perímetro. Las varillas de tierra también pueden instalarse en equipos principales, especialmente cerca de pararrayos. En suelos multicapa o de alta resistividad, puede ser útil usar varillas más largas o Varillas instaladas en puntos de unión adicionales.

- Este sistema de red se extendería a todo el patio de conmutación de la subestación y, a menudo, más allá de la línea de la cerca. Se usarían conductores de tierra múltiples o conductores de mayor tamaño donde las altas concentraciones de corriente, como en una conexión neutra a tierra de generadores, bancos de condensadores, o transformadores.

- A proporción de los lados de las mallas de la cuadrícula suele ser de 1: 1 a 1: 3, a menos que sea precisa (asistida por computadora) El análisis justifica valores más extremos. Las conexiones cruzadas frecuentes tienen un efecto relativamente pequeño en Bajando la resistencia de una rejilla. Su función principal es asegurar un adecuado control de la superficie. potenciales Las conexiones cruzadas también son útiles para asegurar múltiples rutas para la corriente de falla, minimizando la caída de voltaje en la propia red, y proporcionando una cierta medida de redundancia en el caso de fallo de un conductor.

Es de conocimiento general que la mayoría de los sistemas eléctricos necesitan ser aterrizados y que esta práctica probablemente se inició en los primeros días de los experimentos eléctricos. Entonces, como ahora, la estática se descargaba por conexión a una placa que estaba en contacto con la masa general de la tierra. La práctica ha continuado y se ha desarrollado progresivamente, de modo que tales conexiones a tierra se encuentran en casi todos los puntos en el sistema eléctrico. Esto incluye la estación generadora, las líneas y los cables que distribuyen la energía eléctrica y los locales en los cuales se utiliza.

La puesta a tierra de instalaciones eléctricas está relacionada en primer lugar con la seguridad. El sistema de puesta a tierra se diseña normalmente para cumplir dos funciones de seguridad. La primera es establecer conexiones equipotenciales. Toda

estructura metálica conductiva expuesta que puede ser tocada por una persona, se conecta a través de conductores de conexión eléctrica.

La mayoría de los equipos eléctricos se aloja en el interior de cubiertas metálicas y si un conductor energizado llega a entrar en contacto con éstas, la cubierta también quedará temporalmente energizada. La conexión eléctrica es para asegurar que, si tal falla ocurriese, entonces el potencial sobre todas las estructuras metálicas conductivas expuestas sea virtualmente el mismo. En otras palabras, la conexión eléctrica iguala el potencial en el interior del local, de modo que las diferencias de potencial resultantes son mínimas. De este modo, se crea una plataforma equipotencial.

Si una persona está en contacto simultáneamente con dos piezas diferentes de una estructura metálica expuesta, el conductor de conexión eléctrica debiera garantizar que la persona no reciba un choque eléctrico, haciendo que la diferencia de potencial entre los equipos sea insuficiente para que esto ocurra. El mismo principio se aplica en el interior de grandes subestaciones eléctricas, industrias y casas. En industrias, la conexión eléctrica de estructuras metálicas expuestas garantizará normalmente que una falla eléctrica a la carcasa de la máquina no generará una diferencia de potencial entre ella y la estructura metálica puesta a tierra en una máquina adyacente.

En la casa, la conexión eléctrica garantiza que, si ocurriese una falla a la cubierta metálica de una máquina lavadora u otro electrodoméstico, cualquier persona que estuviese tocando en el momento de falla simultáneamente uno de estos equipos y el estanque metálico, no experimentaría un choque eléctrico.

3.6.1.2 Algunas de las razones por la que se debe tener un sistema aterrizado

- Proporcionar una impedancia suficientemente baja para facilitar la operación satisfactoria de las protecciones en condiciones de falla.
- Asegurar que los seres vivos presentes en los alrededores de la instalación no queden expuestos a potenciales inseguros, en régimen permanentes o en condiciones de falla. (tales como descarga atmosférica, ondas de maniobra o contacto inadvertido con sistemas de voltaje mayor), y asegurar que no se excedan los voltajes de ruptura dieléctrica de las instalaciones.
- En los transformadores de potencia puede usarse en una instalación graduada.
- Limitar el voltaje a tierra sobre materiales conductivos que circulan conductores o equipos eléctricos.

Razones menos frecuentes, pero de consideración:

- ✓ Estabilizar los voltajes fase a tierra en líneas eléctricas bajo condiciones de régimen permanente, por ejemplo, disipando cargas electrostáticas que se han generado debido a nubes, polvo, agua, nieve, etc.
- ✓ Una forma de monitorear la instalación del sistema de suministro de potencia. Para eliminar fallas a tierra con arco eléctrico persistente.

- ✓ Para asegurar que una falla que se desarrolla entre los enrollados de alto y bajo voltaje de un transformador.
- ✓ Proporcionar una trayectoria de baja impedancia para las corrientes inducidas y de tal modo minimizar el ruido eléctrico en los cables.
- ✓ Proporcionar una plataforma equipotencial sobre la cual pueda operar el equipo electrónico.

Capítulo 4. Análisis y resultados obtenidos por LabVIEW

Capítulo 4. Análisis y resultados obtenidos por LabVIEW

Después de realizar el dimensionamiento del sistema solar fotovoltaico, se genera una plataforma de simulación mediante el software LabVIEW para el laboratorio de energía renovable de la Universidad Nacional de Ingeniería

4.1 Modelo Desarrollado

El programa creado en LabVIEW para el moldeamiento del sistema solar fotovoltaico, permite obtener un panorama general del funcionamiento de todos los equipos, ante las diferentes condiciones de operación y los factores que afectan su rendimiento, obteniendo de esta forma, un mejor aprovechamiento del recuso solar.

Con ilustración en pantalla con el diagrama en que representan todos los componentes del sistema a simular. El programa maneja subrutinas denominadas que modelan cada uno de los equipos a simular, conteniendo las respectivas características.

Los datos registrados por la estación meteorológica utilizada para las mediciones en el sitio son de tipo discreto, estos no pueden ser aprovechados por el software para un adecuado modelado del sistema solar fotovoltaico diseñado, debido a que para generar resultados simula haciendo un barrido de forma continua respecto al tiempo; además la estación no genera registros de radiación difusa, ni del haz de radiación incidente.

Por lo tanto, es necesario emplear una base de datos meteorológicos mundiales, generando el archivo climático específico con la información correspondiente al laboratorio de energía renovable. Para que pueda ser procesado por el modelo del software LabVIEW. Dentro de la estructura de datos climáticos en VIEW, existen otros modelos, como el VIEW 109-TRY y el VIEW 109-VDI, que corresponden a formatos alemanes y el VIEW 109-AMeDAS que concuerda a un estándar japonés (Solar Energy Laboratory, 2012).

La ilustración 25 presenta los valores de radiación promedio mensual, en términos de potencia W/m2, obtenidos mediante el archivo climático para la ubicación del laboratorio.

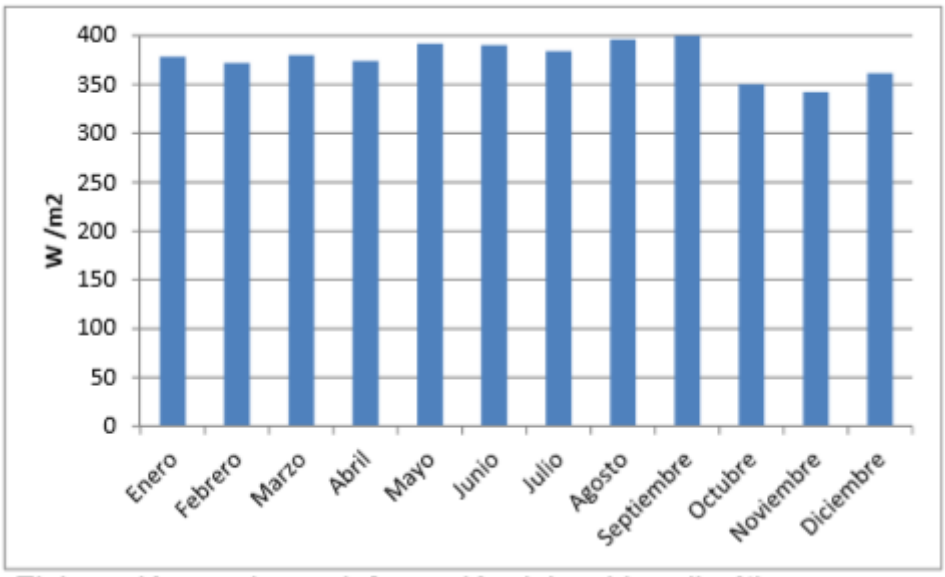


Ilustración 26. Promedio mensual de radiación solar – Archivo climático
Fuente: Elaboración propia con información del archivo climático.

Con el fin de verificar la información obtenida de la base de datos mundial, se hace su comparación con los datos mensuales promedio de radiación solar que fueron registrados directamente en laboratorio, como se muestra en la Ilustración 26, se observa que los valores del archivo climático son más altos, según los cuales existirían cuatro horas de sol pico (HSP=3h), por lo cual, en la simulación, el sistema solar fotovoltaico diseñado debe responder de una forma más holgada respecto a lo calculado.

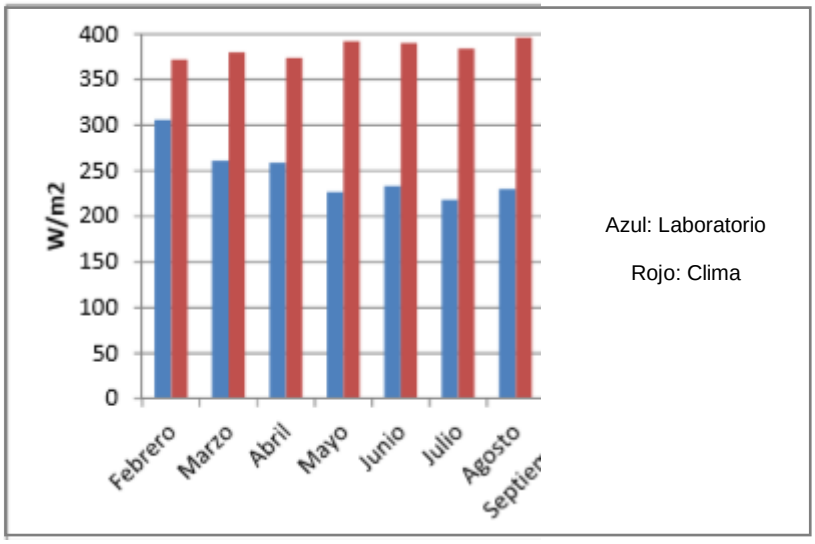


Ilustración 27. Promedio mensual de radiación solar –Laboratorio y Archivo climático (2020)
Fuente: Propia, obtenida en Excel

Se genera la gráfica de dispersión entre los datos radiación solar registrados del laboratorio y los obtenidos por el archivo climático (Ilustración 24), donde se evidencia que existe una correlación del 85 %, con una relación inversa que se hace notoria, de acuerdo a la ilustración 27, en los meses de mitad del año.

La diferencia indicada en los valores de radiación solar disponible en la zona, podría explicarse por el hecho de que los datos de archivos a nivel mundial generalmente son tomados de un promedio de registros de varias estaciones cercanas al sitio (no conociéndose cuáles son), lo cual no necesariamente refleja las condiciones específicas del sitio, por ejemplo, en nubosidad que cambia según la topografía y otras condiciones del lugar.

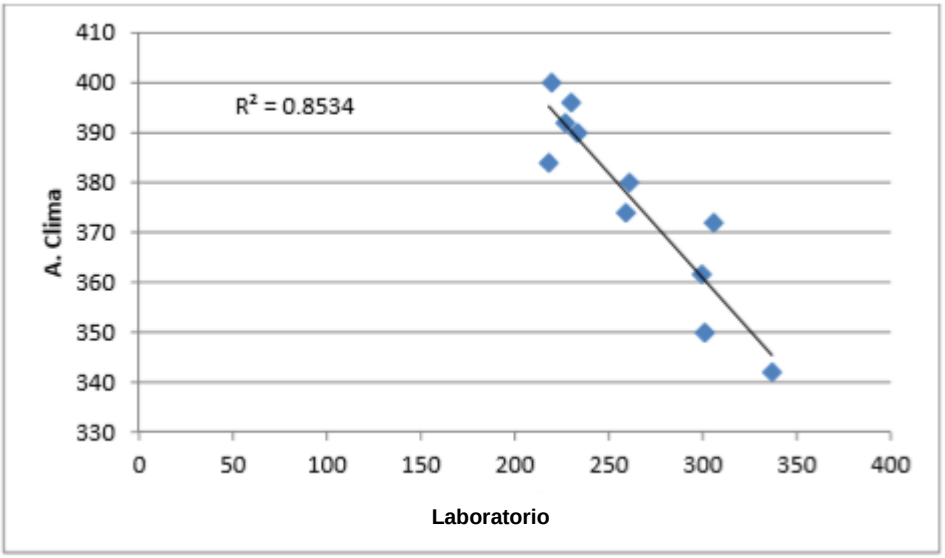


Ilustración 28. Dispersión – Laboratorio de energía renovable y Archivo climático
Fuente: Propia, obtenida de Word

De acuerdo al tratamiento realizado con LabVIEW para la presente modelación, a partir de este momento, para poder simplificar y estudiar con claridad el funcionamiento del sistema diseñado, se considera la simulación del comportamiento durante cuatro días con diferentes potencias solares (Ilustración 28): uno con radiación relativamente baja, dos comportamientos medios y el siguiente día con una radicación máxima.

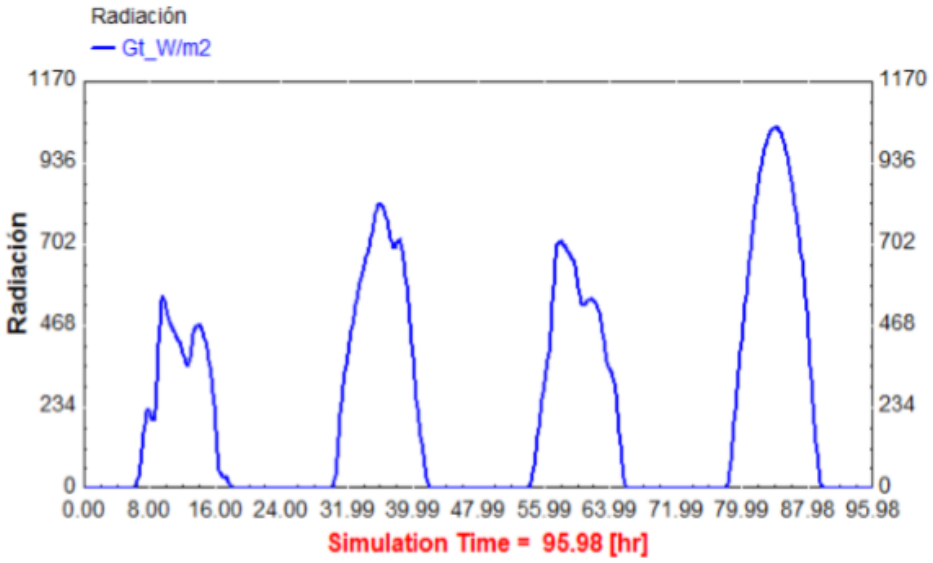


Ilustración 29. Radiación solar simulada durante 4 días – VIEW 109
Fuente: Elaboración propia mediante el software LaVIEW

Para lo anterior, las condiciones asumidas son:

• El primer día exhibe una fuerte presencia de nubosidad con una radiación máxima de 550 W/m2 la cual se presenta alrededor de las 9:30 horas, sobre las 13 horas decrece a 360 W/m2 y vuelve a aumentar hasta 471 W/m2 a las 14 horas.

• El segundo día muestra un valor máximo de 820 W/m2 a las 13 horas, cae a 694 W/m2 sobre las 13:30 horas y sube hasta 718 W/m2 a las 14:30 horas.

• En el tercer día se observa una radiación máxima de 713 W/m2 a las 10 horas, decae a 528 W/m2 a las 12:30 horas y crece a 548 W/m2 a las 14 horas.

• Para el último día se presentan condiciones óptimas de radiación, sobre el medio día alcanzando una radiación de 1 040 W/m2.

4.1.2 Matriz solar fotovoltaica

Dentro de los VIEW de paneles fotovoltaicos disponibles en el software, existen modelos de colectores térmicos dentro de subdivisiones del VIEW 50, el VIEW 94b como subrutina para módulos de capa delgada, y el VIEW 94a que recrea los módulos solares fotovoltaicos de silicio monocristalino y policristalino mediante un seguimiento al punto de máxima potencia, emplea ecuaciones para un tipo de circuito equivalente empírico que contempla las características de corriente y voltaje de un solo panel y luego las extrapola para predecir el rendimiento de una matriz multi-módulo (Solar Energy Laboratory, 2012), como se detalla a continuación.

El generador fotovoltaico de este VIEW, básicamente está descrito por un circuito con una fuente de corriente DC, un diodo y una resistencia (Ilustración 29). La intensidad de corriente de la fuente depende de la radiación solar y las características de voltaje y corriente del diodo, que a su vez son dependientes de la temperatura (Solar Energy Laboratory, 2012).

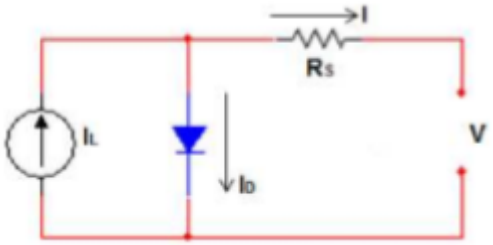


Ilustración 30. Circuito equivalente del módulo solar – VIEW 94a
Fuente: Elaboración propia con información de VIEW Mathematical Reference.Labview

El funcionamiento del sistema se describe mediante la ley de Kirchhoff, como el balance entre la corriente de generación del módulo I_L y la intensidad sobre el diodo I_D

$$I = I_L - I_D \tag{6}$$

La ecuación característica de corriente (I) respecto al voltaje (Gimeno, 2002), se describe como:

$$I = I_L - I_0\left(exp^{\frac{V + IR_S}{V_T}}\right) \tag{7}$$

Siendo V_T la tensión térmica, la cual depende de la temperatura absoluta (300 K)

$$V_T = \frac{k\,T}{q} \tag{8}$$

Donde la constante de la carga eléctrica sobre el electrón con una incertidumbre estándar q y la constante de Boltzmann k, de acuerdo al National Institute Of Standards And Technology (NIST, 2013), son respectivamente

$$q = 1{,}602\,176\,565\,(35)\,\mathrm{x}\,10^{-19}\ \mathrm{C}$$

$$k \approx 1{,}3806504\,\mathrm{x}\,10^{-23}\ \mathrm{J/K}$$

Por lo tanto, el valor de la tensión térmica V_T es

$$V_T \approx 25\ mV$$

Para determinar la corriente generada I_L, se debe tener en cuenta la relación linealmente dependiente de la radiación incidente

$$I_L = I_{L,ref} \frac{G_T}{G_{T,ref}} \quad (9)$$

Donde la fotocorriente del módulo en condiciones de referencia $I_{L,ref}$es equivalente a la corriente de corto circuito en condiciones de referencia $I_{sc,ref}$

$$I_{L,ref} = I_{sc,ref}$$

El parámetro empírico de ajuste de la curva fotovoltaica Y, está dado por

$$\gamma = \frac{q\left(V_{mp,ref} - V_{oc,ref} + I_{mp,ref} R_s\right)}{k\, T_{c,ref}\, ln\left(1 - \frac{I_{mp,ref}}{I_{sc,ref}}\right)} \quad (10)$$

La corriente de saturación inversa del diodo I_O, depende de la temperatura del módulo T_C, y de sus parámetros de referencia

$$\frac{I_0}{I_{0,ref}} = \left(\frac{T_C}{T_{C,ref}}\right)^3 \quad (11)$$

En donde la corriente de referencia de saturación inversa del diodo $I_{O,ref}$, se define a partir de:

$$I_{o,ref} = \frac{I_{sc,ref}}{exp\left(\frac{q\, V_{oc,ref}}{\gamma\, k\, T_{c,ref}}\right)} \quad (12)$$

La derivada analítica del voltaje con respecto a la temperatura en condiciones de referencia en circuito abierto, está dada por:

$$\frac{\partial V_{oc}}{\partial T_C} = \mu_{Voc} = \frac{\gamma\, k}{q}\left[\ln\left(\frac{I_{sc,ref}}{I_{o,ref}}\right) + \frac{T_C\, \mu_{Isc}}{I_{sc,ref}} - \left(3 + \frac{q\, \varepsilon_g}{\frac{\gamma}{N_s}\, T_{C,ref}}\right)\right] \quad (13)$$

Para conseguir una buena aproximación de los módulos cristalinos, se calculan los valores de la corriente generada I_L , la corriente de referencia de saturación inversa del diodo $I_{O,ref}$, el parámetro empírico de ajuste de la curva fotovoltaica γ y la resistencia en serie del módulo R_S, de acuerdo a los parámetros descritos a continuación.

Adicionalmente para determinar el valor de R_S, se asume que la pendiente de la curva Corriente-Voltaje es cero en la condición de corto circuito (Solar Energy Laboratory, 2012)

$$\left(\frac{dI}{dV}\right)_{v=0} = 0$$

Partiendo de las condiciones técnicas del fabricante del panel fotovoltaico monocristalino elegido, se establece la corriente de corto circuito del módulo en condiciones de referencia $I_{sc,ref}$

$$I_{sc,ref} = 5{,}2\ A$$

El voltaje de circuito abierto del módulo fotovoltaico $V_{O,ref}$:

$$V_{oc,ref} = 44{,}2\ V$$

La tensión del módulo en el punto de máxima potencia $V_{mp,ref}$

$$V_{mp,ref} = 35{,}2\ V$$

La corriente del módulo en el punto de máxima potencia $I_{mp,ref}$

$$I_{mp,ref} = 4{,}95\ A$$

El número de celdas conectadas en serie en cada panel solar N_S

$$N_s = 72$$

El área del módulo A

$$A = 1{,}27\ m^2$$

El voltaje de operación del panel solar V

$$V = 24\ V$$

El coeficiente de temperatura de la corriente de corto circuito μ_{ISC}

$$\mu_{Isc} = 0{,}017\ \% / °C$$

Y el coeficiente de temperatura del voltaje de circuito abierto μ_{VOC}

$$\mu_{Voc} = -0{,}34\ \% / °C$$

De acuerdo al sistema solar fotovoltaico diseñado, la cantidad de paneles conectados en paralelo de la matriz fotovoltaica NP es

$$NP = 3$$

Y según lo estimado, el número de módulos enlazados en serie de la matriz fotovoltaica NP

$$NS = 1$$

Las características de referencia, se toman como constantes al nivel del mar (Delgado, 2010), establecidas con los siguientes valores

Temperatura de referencia $T_{C,ref}$

$$T_{c,ref} = 25\ °C$$

Referencia de insolación $G_{T,ref}$

$$G_{T,ref} = 1\,000\ \frac{W}{m^2}$$

La Temperatura ambiente en condiciones NOCT (temperatura nominal de funcionamiento de la celda, por sus siglas en inglés) $T_{a,NOCT}$,, es la temperatura de funcionamiento del módulo con una velocidad del viento de 1 m/s, sin carga eléctrica (Bækhøj, 2005). Establecida como

$$T_{a,NOCT} = 20\ °C$$

Así mismo, la radiación incidente en condiciones NOCT $G_{T,NOCT}$, es:

$$G_{T,NOCT} = 800\ \frac{W}{m^2}$$

Las características NOCT, para un módulo de silicio monocristalino suele estar en torno a los 47ºC (Bækhøj, 2005), en este, caso el fabricante específica la Temperatura del módulo en condiciones NOCT $T_{C,NOCT}$

$$T_{c,NOCT} = 45\ °C$$

Usando la información de los parámetros NOCT, se calcula la temperatura del módulo T_C, para cada instante de tiempo, y la relación del producto de transmitancia - absorptancia del panel, el cual determina el coeficiente de pérdida del módulo

$$\frac{\tau\alpha}{U_L} = \frac{(T_{c,NOCT} - T_{a,NOCT})}{G_{T,NOCT}} \quad (14)$$

Asumiendo que esta relación es constante y teniendo en cuenta la eficiencia de conversión del módulo ηc, que varía con las condiciones ambientales. La temperatura del módulo en cualquier paso de tiempo T_C es:

$$T_C = T_a + \frac{\left(1 - \frac{\eta_c}{\tau\alpha}\right)}{\left(G_T \frac{\tau\alpha}{U_L}\right)} \quad (15)$$

Donde el producto de la transmitancia y la absortancia $\tau_\propto$ se asume como constante, siendo τ la transmitancia de la cubierta fotovoltaica y α la fracción absorbida en la superficie en la celda fotovoltaica

$$\tau\alpha = 0{,}95$$

Definir el bandgap del semiconductor ε_g como 1,12 V, se considera como una buena estimación (Solar Energy Laboratory, 2012).

$$\varepsilon_g = 1{,}12\ eV$$

Los valores de fotocorriente del módulo en condiciones de referencia $I_{l,ref}$ corriente de saturación inversa del diodo en condiciones de referencia $I_{O,ref}$ y el parámetro empírico de ajuste de la curva fotovoltaica γ, son calculados automáticamente por el software para cada instante de tiempo.

Los datos instantáneos de radiación total incidente en el panel G_T, temperatura ambiente T_a, haz de radiación incidente $G_{T,beam}$, radiación difusa $G_{T,diff}$,así como el ángulo de incidencia de la radiación solar θ y la pendiente de la matriz fotovoltaica β, son obtenidos del archivo climático del mismo software LabVIEW.

Cuando se modelan sistemas de acoplamiento directo donde el conjunto fotovoltaico está conectado directamente a una carga, se utiliza el FLAG para encontrar el punto en el que las tensiones de la malla fotovoltaica y la carga son iguales. Debido a que el sistema solar fotovoltaico diseñado alimenta un banco de baterías, se desactiva esta opción

$$FLAG = 0$$

4.1.2.1 Resultado del arreglo de módulos fotovoltaicos

Teniendo en cuenta la intensidad de corto circuito entregada por el fabrícate para cada módulo fotovoltaico $I_{sc,ref}$ y la cantidad de paneles enlazados en paralelo NP, se establece la corriente de corto circuito del arreglo fotovoltaico $I_{sc,T}$

$$I_{sc,T} = I_{sc,ref} * NP \quad (16)$$

$$I(sc,T) = 5.2\ A * 3$$

$$I(sc,T) = 15.6\ A$$

Así mismo, la intensidad en el punto de máxima potencia de la matriz fotovoltaica $I_{mp,T}$, está definida por la corriente en el punto de máxima potencia según las condiciones de referencia $I_{mp,ref}$ y el número de paneles conectados en paralelo NP.

$$I_{mp,T} = I_{mp,ref} * NP \quad (17)$$

$$I_{mp,T} = 4.95\ A * 3$$

$$I_{mp,T} = 14.85\ A$$

El comportamiento de voltaje y corriente, a la salida del arreglo de módulos fotovoltaicos, como se muestra en la ilustración 30. Donde en color rojo se muestra el voltaje de la matriz fotovoltaica V, en azul la tensión en el punto de máxima potencia V_{mp}, en fucsia el voltaje de circuito abierto V_{oc}, y la intensidad en el punto de máxima potencia I_{mp} en amarillo.

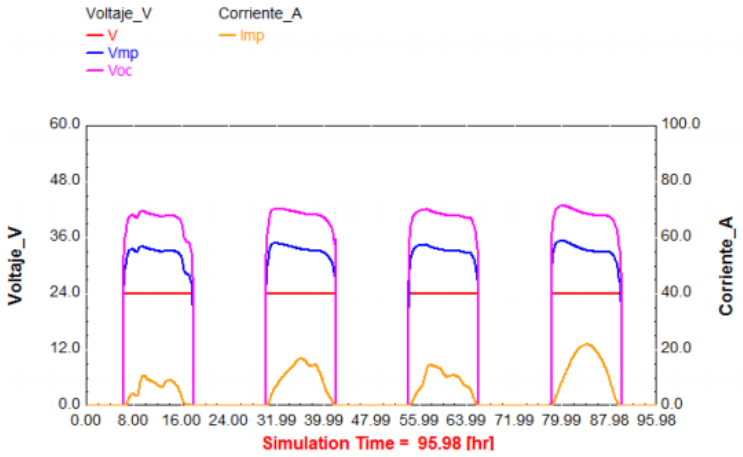


Ilustración 31. Comportamiento Voltaje y Corriente – interfaz view
Fuente: Propia, obtenida del interfaz gráfico de LabVIEW

A lo largo de los cuatro días, durante las horas en que se presenta radiación solar se mantiene el voltaje de la matriz fotovoltaica V en 24 V.
El día con mayor radiación solar es el cuarto, donde el punto máximo de voltaje se encuentra a las 8 horas, en este instante la tensión de circuito abierto $V_{oc,8h}$es muy próxima al voltaje de circuito abierto establecido por el fabricante $V_{oc,ref}$.

$$V_{oc,8h} = 42.9\,V$$

Debido a que el sistema modelado efectúa un seguimiento al punto de máxima potencia, la tensión óptima en la hora 8 de simulación $V_{oc,8h}$ corresponde al voltaje de en el punto de máxima potencia según las condiciones de referencia $V_{mp,ref}$ (tan solo con una diferencia de 0,2 V).

$$V_{mp,8h} = 35\,V$$

La corriente en el punto de máxima potencia para este instante de tiempo $I_{mp,8h}$ es

$$I_{mp,8h} = 8.3\,A$$

El voltaje en el punto de máxima potencia $V_{mp,8h4d}$ corresponde a

$$V_{mp,8h4d} = 33\ V$$

El punto de máxima corriente se encuentra sobre las 12 horas del cuarto día, donde la tensión de circuito abierto $V_{oc,8h4d}$ es

$$V_{oc,8h4d} = 41.1\,V$$

El valor de la corriente en el punto de máxima potencia en el medio día $I_{mp,8h4d}$ es cercano al de la intensidad en el puto de máxima potencia de la matriz fotovoltaica definida teóricamente $I_{mp,T}$ y muy próximo al valor de la corriente de corto circuito del arreglo fotovoltaico $I_{SC,T}$,

$$I_{mp,8h4d} = 21A$$

Teóricamente, la potencia de salida en la matriz fotovoltaica $P_{ref,T}$, está dada por la potencia para un módulo solar (especificada por el fabricante) P_{ref} y el número de paneles conectados en paralelo NP

$$P_{ref,T} = P_{ref} * NP$$
$$P_{ref,T} = 250\,W * 3 \quad (18)$$
$$P_{ref,T} = 750\,W$$

De acuerdo al resultado del modelado, la potencia generada por el arreglo de módulos fotovoltaicos para las 96 horas que comprenden los días analizados, se observa en la ilustración 31.

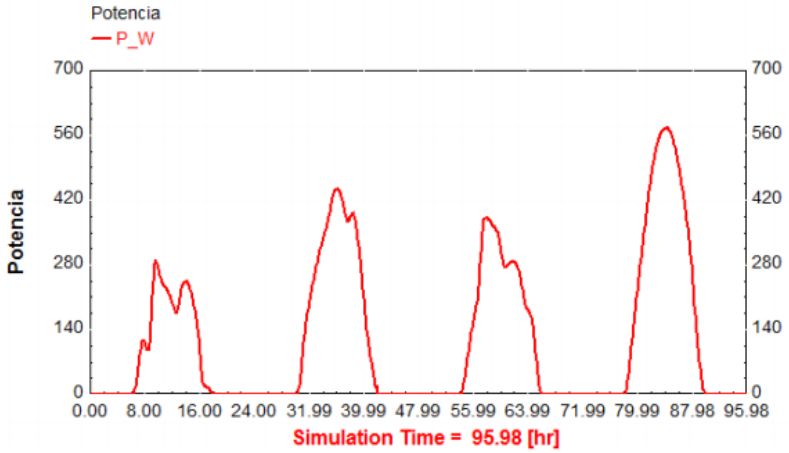


Ilustración 32. Potencia generada por el arreglo fotovoltaico LabVIEW
Fuente: Propia, obtenida mediante software- LabVIEW

En relación a los valores teóricos de voltaje de máxima potencia en la hora 8 de la simulación $V_{mp,8h}$ y de corriente de máxima potencia en ese mismo instante $I_{mp,8h}$, teóricamente la potencia máxima a las 8 horas del cuarto día $P_{mAX,8h}$ es:

$$P_{mAX,8h} = I_{mp,8h} * V_{mp,8h}$$
$$P_{mAX,8h} = 21\ A * 33\ V \quad (19)$$
$$P_{mAX,8h} = 693\ W$$

El comportamiento del arreglo de módulos fotovoltaicos es adecuado a la forma de operación esperada, la potencia máxima entregada $P_{mAX,8h}$ tiene una eficiencia del 82,7 % en relación con el valor de la potencia máxima teórica P_{ref}, determinada de acuerdo a los parámetros dados por el fabricante.

4.1.3 Banco de acumulación

Las baterías almacenan y liberan energía a través de reacciones de oxidación y reducción, existen modelos que se basan en la electroquímica del sistema y otros en circuitos equivalentes, que consisten en condensadores y resistencias, utilizados para representar la carga de la capacidad de almacenamiento del acumulador y la resistencia a la carga, respectivamente (Burgos, 2013).

En LabVIEW, los modelos matemáticos de las baterías de plomo ácido view 9a, describen la relación entre el voltaje, la corriente y el estado de carga (SOC, por sus siglas en ingles). Representan un acumulador que opera conjuntamente con la matriz fotovoltaica y con el módulo de acondicionamiento de potencia (Solar Energy Laboratory, 2012).

En el interview la potencia es entregada como entrada, esta especifica cómo varía el estado de carga de la batería respecto al tiempo, a partir de una taza dada de carga o descarga (Solar Energy Laboratory, 2012).

Utiliza el modelo de Shepherd, para representar el voltaje del acumulador en función del estado de carga y de la corriente (Burgos, 2013). Mientras la intensidad del acumulador sea menor que cero, la descarga de la batería se representa por la siguiente ecuación

$$\mathrm{I} < 0$$

$$V = e_{qd} - g_d H + I r_{qd}\left(1 + \frac{m_d H}{\frac{Q_d}{Q_m} - H}\right) \tag{20}$$

Donde la fracción del estado de descarga H, es el inverso de la fracción del estado de carga F

$$H = 1 - F \tag{21}$$

La fracción del estado de carga para cada instante de tiempo F, es determinada por el estado de carga y la capacidad nominal de la celda

$$F = \frac{Q}{Q_m} \tag{22}$$

La ecuación del modelo de Shepherd aplicable a la carga para determinar el voltaje de la batería, se emplea cuando la corriente del acumulador es mayor que cero

$$\mathrm{I} > 0$$

$$V = e_{qc} - g_c H + I r_{qc}\left(1 + \frac{m_c H}{\frac{Q_c}{Q_m} - H}\right) \tag{23}$$

En este modelo la corriente nunca es 0, el estado de carga de la batería en cada instante de tiempo Q (cuyo valor es manejado en Ah), es establecido por la corriente (cuando el acumulador se encuentra en fase de descarga) y por la relación de corriente y eficiencia de la batería (mientras esta permanece en ciclo de carga).

$$\frac{dQ}{dt} = \begin{cases} I, & si\ I < 0 \\ I * eff_B, & si\ I > 0 \end{cases} \tag{24}$$

De acuerdo a las características de acumulación diseñada, se definen los siguientes parámetros

El número de celdas conectadas en serie dentro del acumulador NS_B , se fija conociendo que, en una batería de plomo ácido, cada bloque posee una tensión de 2 V (Sánchez, 2010), por lo tanto, un acumulador de 24 V incluye 12 celdas en serie.

$$NS_B = \frac{V}{V_n} \quad (25)$$

$$NS_B = \frac{24\,V}{2\,V}$$

$$NS_B = 12$$

A partir del voltaje del sistema V establecido en 24 V, se considera el voltaje máximo para cargar el acumulador V_B como

$$V_B = 28\,V$$

Se define la tensión máxima permitida en cada celda cuando la batería se encuentra en modo de carga V_{max} , de acuerdo a la relación ente el voltaje máximo para cargar el acumulador V_B y la cantidad de celdas en serie dentro de la batería NS_B

$$V_{max} = \frac{V_B}{NS_B} \quad (26)$$

$$V_{max} = \frac{28\,V}{12}$$

$$V_{max} = 2{,}33\,V$$

Se estiman como 10, la cantidad de bloques conectados en paralelo dentro del acumulador NP_B

$$NP_B = 10$$

Cada una de estas celdas, con una capacidad de energía Q_m , definida por la capacidad total del banco de baterías diseñado Q_T y el número de bloques en paralelo NP_B

$$Q_m = \frac{Q_T}{NP_B} \quad (27)$$

$$Q_m = \frac{547\ Ah}{10}$$

$$Q_m = 54{,}7\ Ah$$

De acuerdo a lo estimado en el diseño por pérdidas F_S , entre ellas en el acumulador, se define en un 83 % la eficiencia de carga de la batería eff_B

$$eff_B = 0{,}83$$

Se establece la corriente máxima por celda durante la fase de carga I_{max} en relación a la capacidad de energía por cada bloque Q_m y considerando un tiempo de descarga C_{20} (20 horas).

$$I_{max} = \frac{Q_m}{C_{20}} \quad (28)$$

$$I_{max} = \frac{54{,}7\ Ah}{20\ h}$$

$$I_{max} = 2{,}73\ A$$

4.1.3.1 Resultado del banco de baterías

En esta subrutina se puede determinar el estado de carga inicial de la batería, en este caso, se define un comienzo del acumulador totalmente cargado, debido a que es la manera como el fabricante lo entrega. En la Ilustración 32, se observa la cantidad de energía disponible en la batería en relación con su capacidad máxima F, para los primeros cuatro días estimados de operación del sistema.

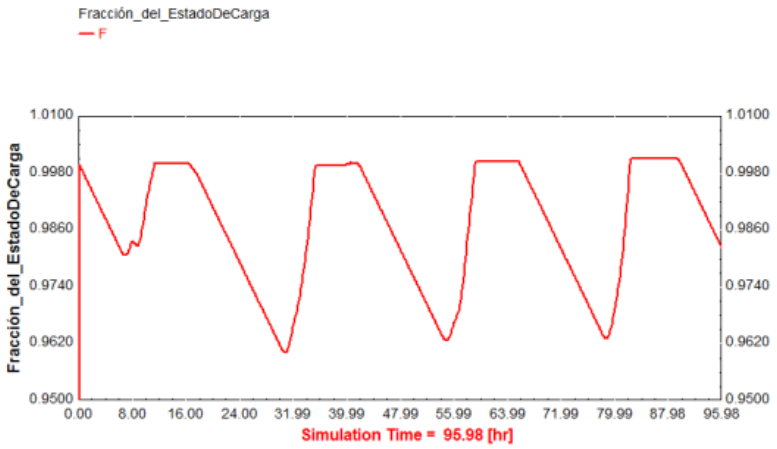


Ilustración 33. Estado de carga del banco de baterías – View 9ª
Fuente: Propia, obtenida mediante el software LabVIEW

La carga eléctrica comienza a demandar energía desde el instante de tiempo cero, por lo cual, la batería se descarga hasta el 98,08 % cuando son pasadas las 6:30 horas, instante en que los paneles solares fotovoltaicos comienzan a generar la energía para suplir la carga, y con la energía excedente, inicia a recarga el acumulador de forma escalonada, hasta las 11:00 horas, donde nuevamente la batería está al 100 %, se mantiene llena hasta las 16:30 horas, en ese momento entra en fase de descarga hasta las 6:40 horas del segundo día, llegando a 96,03 %, valor de descarga máxima para los días analizados.

El acumulador vuelve a estar totalmente cargado a las 11:20 horas del segundo día, en ese momento la potencia generada por la matriz solar soporta toda la carga hasta las 17:45 horas, donde nuevamente entra en fase de descarga hasta las 6:45 horas del tercer día con un nivel de carga de 96,29 %, el comportamiento se mantiene de la misma manera durante el tiempo restante del tercer día y todo el cuarto día.

Por las características de descarga diaria en la batería, se predice que el sistema responda de forma adecuada en el laboratorio de energía renovable durante los cuatro días de reserva previstos, sin generar una descarga profunda en el sistema de acumulación.

El comportamiento de voltaje a la salida del banco de baterías durante el ciclo de carga se muestra en la ilustración 33, donde la tensión de la batería V se presenta de color rojo, el voltaje de corte en el ciclo de descarga D_Vc en color azul y en fucsia la tensión de corte en el ciclo de carga C_Vc.

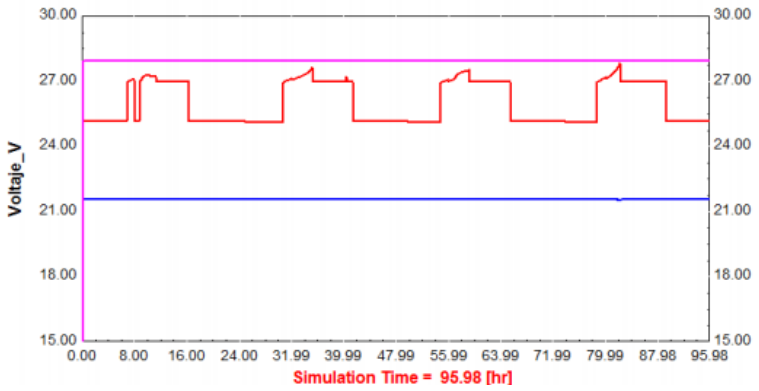


Ilustración 34. Voltajes de salida del banco de baterías View 9ª
Fuente: Propia, obtenida del software LabVIEW

La tensión máxima de carga C_Vc, se mantiene constante en 27,9 V, muy cercano al valor estimado como voltaje máximo para cargar el acumulador V_B. La tensión mínima de descarga D_Vc, también muestra un comportamiento permanente en 21,6 V.

El voltaje de operación, presenta tres estados de carga durante cada día, los cuales se aprecian claramente del segundo al cuarto día. En el primero, existe una radiación solar muy baja sobre las 8 horas, por lo cual el regulador de carga debe interrumpir por un lapso de tiempo el envío de tensión a la batería, priorizando que la energía generada mediante los paneles solares responda a los requerimientos de la carga.

A partir del segundo día se observa que, durante la primera etapa, el voltaje aumenta rápidamente sobrepasando los 27 V, hasta alcanzar el punto de saturación, en este momento el acumulador llega al 100 % de carga y es entonces cuando el regulador reduce el paso de tensión a la batería.

Para el segundo periodo, el acumulador se mantiene en estado de carga total, conservando este lapso de tiempo un voltaje de 27 V, hasta el momento en que es necesario abastecer a la carga por parte la batería.

En la última fase, el regulador permite la descarga del acumulador, conservando un valor levemente mayor a 25 V, este periodo se mantiene hasta que la potencia generada por los módulos solares pueda recargar nuevamente la batería o si se ha llegado al límite de descarga. En esta etapa la tensión puede llegar a un valor mínimo de 24,77 V, debido a que un voltaje menor haría que el acumulador se descargue más que el porcentaje diseñado del 50 %.

4.1.4 Carga eléctrica

De acuerdo al sistema solar fotovoltaico diseñado, la carga está compuesta por las bombillas y el aire acondicionado. La energía diaria diseñada del aire acondicionado no se consume de forma constante, esta varía con una secuencia diferente, de acuerdo a los requerimientos eléctricos para cada periodo de tiempo.

Durante las 18 horas restantes del día t_2, denominadas como el periodo de bajo consumo, la energía requerida por el aire acondicionado E_2, es menor, debido a que solamente se debe mantener la energía almacenada, realizando los ciclos de carga de una manera menos frecuente.

La suma de la energía demandada en la fase de actividad del laboratorio E_1 y la energía durante el periodo de bajo consumo E_2 , debe ser igual a la energía diaria diseñada del aire E_{aire}

$$E_{aire} = E_1 + E_2 \quad (29)$$

Se considera que durante las 8 horas diarias en las que se encuentra activo el laboratorio de energía t_1 (de 12:45 pm a 8: 45 pm), la energía requería en la fase de actividad del laboratoriot_1, es de 170 Wh. Y que la energía durante el periodo de bajo consumo, distribuida a lo largo de las otras 18 horas del día t_2 es de 600 Wh.

$$E_{aire} = 170\ Wh + 600\ Wh$$

Se estima que para ambos periodos de consumo de energía E_1 y E_2, la carga del aire se realiza por ciclos, en los cuales el pulso de carga a potencia nominal tiene la misma duración t_n, durante todo el día y por lo tanto la misma energía consumida por ciclo E_{cn}.

Dicha energía empleada durante el pulso activo del ciclo de carga E_{cn} es definida por la relación entre la potencia nominal considerada en el diseño P_{aire}, y el tiempo de operación a potencia nominal t_n, (que se ha estimado en 15 minutos).

$$E_{cn} = P_{aire} * t_n \quad (30)$$

$$E_{Cn} = 150\ W * \frac{1}{4}\ h$$

$$E_{Cn} = 37{,}5\ Wh$$

Dentro del periodo de actividad del laboratorio, el requerimiento de potencia corresponde a la potencia diseñada en AC P_{max} la cual es establecida de acuerdo a la potencia diaria del aire acondicionado y de las bombillas.

$$P_{ac} = 190\ W$$

La potencia de arranque del aire acondicionado calculada en el diseño dentro de la potencia máxima $P_{ac,max}$, se estima durante el primer segundo de los 15 minutos de la fase de carga.

$$P_{ac,max} = 265\ W$$

Y durante los restantes 30 minutos del ciclo (tiempo de reposo del aire), solamente es requerida la potencia las bombillas.

$$P_{bom} = 40\ W$$

La ilustración 34, presenta el comportamiento de la potencia estimada para la carga, durante un ciclo (45 minutos) del periodo de actividad del laboratorio, donde se observa el requerimiento de potencia para cada instante de tiempo.

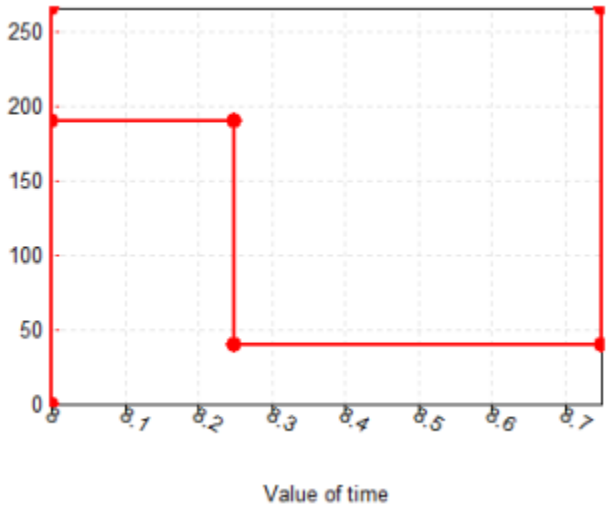


ilustración 35. Potencia requerida - Horas de operación del laboratorio
Fuente: Propia, obtenida mediante el software LabVIEW

Para el periodo de bajo consumo, la potencia por cada ciclo, de acuerdo al diseño, está dada solamente por el aire. Por lo tanto, la potencia necesaria durante los 15 minutos de operación de la fase de carga t_n, corresponde a la potencia nominal P_{aire}.

$$P_{aire} = 170\ Wh$$

El requerimiento de potencia máxima del aire acondicionado $P_{Max,\ aire}$, se considera como el pico de carga presente durante el primer segundo del ciclo, dentro del periodo bajo consumo en el laboratorio.

$$P_{Max,\ aire},= 225\ W$$

El tiempo de descanso del aire en este periodo se extiende a 52,5 minutos, tiempo en cual la demanda de potencia es nula. El comportamiento de uno de los ciclos en el periodo de bajo consumo del laboratorio, se observa en la ilustración 35.

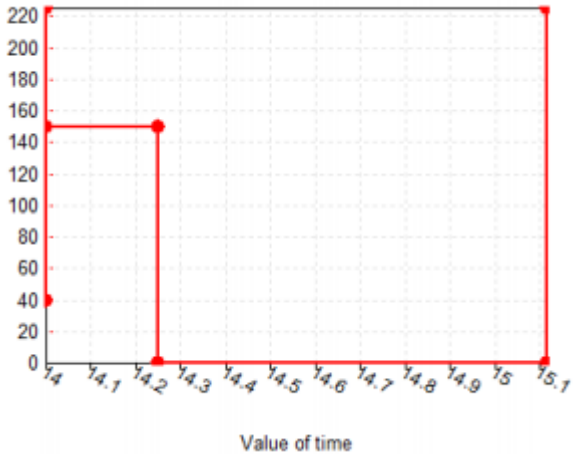


ilustración 36. Potencia requerida - Horas de bajo consumo.
Fuente: Propia, obtenida mediante el software LabVIEW

4.1.4.1 Perfil de consumo de la carga

Como sistema para simular la carga, se emplea una función de fuerza View 9ª con la cual se pueden generar perfiles de operación dependientes del tiempo. El View 9ª, es la versión adimensional de este modelo, con el cual se pueden definir las características de la carga del sistema diseñado, en las unidades que maneja el View de regulación e inversión.

Esta subrutina repite un patrón periódico establecido, durante todo el tiempo de simulación indicado por el usuario; las características de dicho ciclo se establecen mediante un conjunto de puntos, indicando el valor de la función para cada instante de tiempo.

De acuerdo a la forma de operación de la carga diseñada, se requiere definir dentro de la secuencia de comportamiento diario 24 sub-ciclos, comprendidos por 8 sub–series para las horas de actividad del laboratorio C_1 y 16 para el periodo de bajo consumo C_2.

La cantidad de intervalos dentro del View 9ª es limitada a 20 conjunto de puntos de la forma (x, y), con los cuales solamente se podrían definir 3 sub - ciclos. Motivo por el cual se genera un perfil de consumo de potencia para todo el día PD, el cual está conformado por la potencia promedio requerida para el periodo de actividad de dicho laboratorio y para la fase de bajo consumo (ilustración 36).

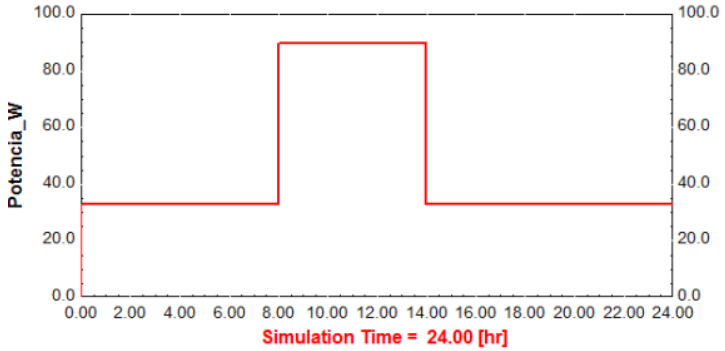


Ilustración 37. Perfil de consumo diario de potencia.
Fuente: Propia, obtenida mediante el software LabVIEW

De acuerdo a las características definidas, diariamente desde las 0 hasta las 8 horas, y de las 14 a las 24 horas, se requiere una potencia de 600 Wh correspondiente a la energía durante el periodo de bajo consumo E_2 , por lo cual se establece dentro de esas 18 horas t_2, un consumo constante de potencia P_2.

$$P_2 = \frac{E_2}{t_2} \tag{31}$$

$$P_2 = \frac{600\ Wh}{18\ h}$$

$$P_2 = 33{,}3\ W$$

La media del consumo de potencia P_1 , para las 8 horas en las cuales el laboratorio está en el periodo de actividad t_1 , se determina en relación a los 240 Wh estimados para el consumo de las bombillas E_{bom} y a los 300 Wh demandados por el aire en ese periodo de tiempo E_1.

$$P_1 = \frac{E_{bom} + E_1}{t_1} \tag{32}$$

$$P_1 = \frac{240\ Wh + 300\ Wh}{8\ h}$$

$$P_1 = 67.5\ W$$

Cabe mencionar que las características del perfil de consumo diario modelado mediante el software, se repiten continuamente durante todo el tiempo de simulación establecido.

4.1.5 Regulador – Inversor

Dentro de los modelos de Regulador - Inversor disponibles en LabVIEW, se encuentran subsistemas como el View 9ª, el cual funciona sin conexión al acumulador, en esta versión la salida es dada por la potencia de la matriz P_A, multiplicada por la eficiencia del regulador - inversor, y enviada directamente a la carga P_L. EN View 9ª realiza un monitoreo de carga a la batería y debe conectarse con el módulo de acumulador View 9ª. El View 9ª, donde se supervisa tanto el estado de la carga de del acumulador, como el estado de voltaje (Solar Energy Laboratory, 2012).

En este modelado se emplea la subrutina más completa de regulación e inversión, denominada View 9ª, la cual constituye los dos dispositivos de acondicionamiento de potencia. El primero de ellos es el regulador, que en sistemas con almacenamiento de energía, es el encargado de distribuir la energía DC (corriente directa) del conjunto de células solares hacia y desde el acumulador, realizando además un monitoreo del voltaje y del estado de carga de la batería. Para el segundo componente, el inversor, es quien transforma la energía de DC a AC (corriente alterna) y la envía a la carga (Solar Energy Laboratory, 2012).

Esta subrutina, parte de la potencia del arreglo de paneles solares P_A, para establecer la potencia desde o hacia el acumulador P_B,. La tensión de la matriz fotovoltaica, se toma inicialmente igual al voltaje de la batería, luego, se recalcula la nueva potencia de la malla fotovoltaica P_A, desde regulador hasta que se satisfaga la ley de corrientes de Kirchhoff, haciendo que los voltajes del acumulador y la matriz solar, sean iguales (Solar Energy Laboratory, 2012).

En el View 9ª, se controla la fracción del estado de la carga (FSOC, por sus siglas en inglés) del banco de baterías F, mediante el límite superior del estado de carga cuando el acumulador se está cargando F_C.

$$F > F_C$$

El límite de del estado de carga para que la batería pueda empezar a descargarse después de estar cargada F_B, indica la prioridad para recargar el acumulador con cualquier salida del arreglo fotovoltaico sobre el requerimiento de la carga. Si el valor de este, es mayor que la fracción de estado de carga F, se denomina que Regulador - Inversor se encuentra en modo de “Carga Plena”.

$$F > F_B$$

Para desactivar el modo de “Carga Plena”, haciendo que la salida del regulador - inversor se envíe a la carga, la fracción del estado de carga debe estar entre F y F_C.

$$F < F_B$$

Adicionalmente para dar prioridad a al Load y no a cargar la batería, se debe mantener la siguiente relación entreF_B y el límite inferior de F cuando el acumulador se está descargando F_D.

$$F_B < F_D$$

La descarga de la batería se permite mientras que la fracción del estado de carga F, sea mayor que el límite inferior de F para la descarga de del acumulador F_D.

LabVIEW no considera directamente la simulación de sistemas autónomos, por lo cual, para modelar este tipo de sistema, la fracción del estado de carga F, debe ser mayor que el límite superior de F para la carga la batería mediante la red eléctrica F_{grid}.

$$F > F_{grid}$$

La carga del acumulador se permite, mientras que la tensión del sistema diseñado V, sea menor que el límite superior de V cuando la batería se está cargando V_c .

$$V < V_c$$

El acumulador se pone en carga lenta, una vez se alcance el punto en que la potencia desde o hacia la batería P_B y la taza de carga permitida cuando el acumulador está en el límite de voltaje de V_C , denominada como P_C , sean iguales

$$P_B = P_C$$

Los valores de $P_{L,MAX}$ Capacidad de salida del inversor, P_C taza de carga permitida cuando la batería está en el límite de voltaje VC, P_DPotencia demandada por la carga, P_BPotencia desde o hacia el acumulador, $P_{B,MAX}$Potencia máxima de entrada (carga) y $P_{B,MIN}$ Potencia mínima de salida hacia la batería (descarga) se determinan mediante los valores instantáneos de voltaje y corriente.

Dentro de los parámetros de entrada necesarios en esta subrutina, se considera la eficiencia del regulador eff como el 83 %, de acuerdo lo estimado en el diseño como factor de seguridad por perdidas F_S.

$$eff = 0.83$$

La eficiencia de inversión de DC – AC eff_1 se establece como el 83 %

$$eff_1 = 0.83$$

Se permite la carga del acumulador hasta el 100 % mediante el límite superior de F cuando la batería se está cargando, denominada F_c.

$$F_c = 1$$

De acuerdo a las condiciones de diseño se ha limitado la descarga máxima del acumulador al 50 %, mediante el límite inferior de F para la descarga de la batería $F_{D.}$

$$F_D = 0.5$$

El Límite de F para que el acumulador pueda empezar a descargarse después de estar cargado F_B, se establece como cero, desactivando el modo de “Carga Plena” y priorizando los requerimientos de la carga eléctrica.

$$F_B = 0$$

El límite máximo de potencia de salida del inversor P_1 , es definido como el valor de la capacidad de potencia diseñada del regulador inversor P_{reg}.

$$P_1 = 500\,W$$

Debido a que no se requiere de una inversión de AC - DC, la eficiencia de esta eff_2 es tomada como cero.

$$eff_2 = 0$$

En el sistema diseñado no se contempla el uso de la red eléctrica, por lo cual se fijan como nulos los parámetros asociados a esta, como el valor de la corriente para la carga de la batería por parte de la red I_{grid}.

$$I_{grid} = 0$$

Y el límite superior de la fracción del estado de carga, para alimentar el Load por parte de la red eléctrica F_{grid}.

$$F_{grid} = 0$$

La corriente de entrada del generador solar I_A, es obtenida de la respuesta de los paneles solares fotovoltaicos mediante el VIEW 9a y la potencia requerida por la carga P_D, es generada a través la subrutina de Load VIEW 1h.

Con información del modelado del banco de baterías VIEW 4b, se determinan los valores de: Estado fraccional de carga de del acumulador F, Voltaje de la batería BV, Potencia máxima de carga del acumulador $P_{B,MAX}$, Potencia máxima de descarga de la batería $P_{B,MIN}$, Límite inferior del voltaje del acumulador durante la descarga V_D, Potencia correspondiente al límite inferior de la tensión del acumulador durante la descarga P_{VD}, Límite superior del voltaje de la batería durante la carga V_Cy Potencia correspondiente al límite superior de tensión del acumulador durante la carga P_{VC}.

4.1.5.1 Resultados obtenidos del Regulador – Inversor

En esta subrutina se analiza en forma general el comportamiento de todo el sistema, debido a que el Regulador - Inversor distribuye la energía a través de cada uno de los elementos del modelo.

En la ilustración 37, presenta la salida de potencia del regulador - inversor desde o hacia la batería P_B ; cuando la potencia aumenta, indica el paso de potencia en dirección al acumulador, y cuando esta disminuye el regulador controla la descarga de la batería de acuerdo al requerimiento eléctrico de la carga.

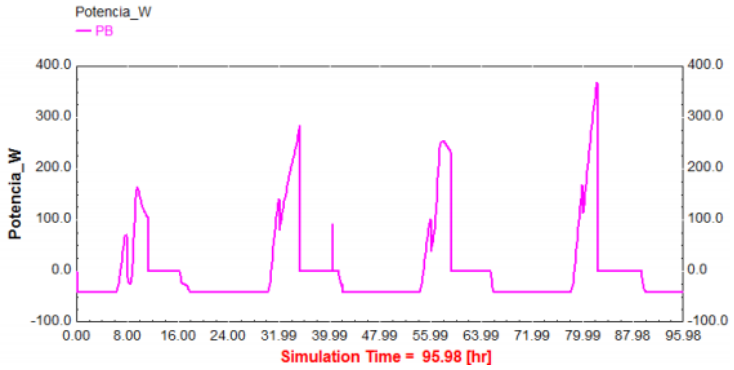


Ilustración 38. Potencia del regulador-Inversor desde o hacia la batería – View 4d
Fuente: Propia, obtenida mediante el software LabVIEW

Durante las 18 horas del periodo de bajo consumo del laboratorio t_2, el regulador permite una descarga de potencia continua en la batería con un valor de 40,12 W, donde para ese periodo de tiempo el perfil de consumo de carga establecido P_2, indica un requerimiento de 33,3 W, con lo cual se evidencia el cumplimiento de la eficiencia de inversión eff_1, estimada en 83 %.

Durante las horas del día en que se presenta radiación solar, respondiendo a lo estimado, la potencia generada por el arreglo fotovoltaico es enviada prioritariamente desde el regulador hacia el Load para abastecer la carga eléctrica.

Cada mañana de acuerdo a la potencia excedente generada por los paneles solares, el acumulador comienza a ser recargado; a las 8 horas, cuando aumenta el requerimiento de potencia al comenzar el periodo de actividad a 90 W (P_1), se pausa por unos minutos el proceso de carga en la batería, ante este repentino cambio, y posteriormente continua su ritmo de carga.

Una vez el acumulador alcanza el 100 % del estado de carga, se mantiene en pausa hasta las 17 horas, momento en que la potencia generada por la matriz fotovoltaica es muy baja y la batería se convierte en la única fuente de alimentación para la carga eléctrica.

En la ilustración 38, se observa la potencia que el Regulador - Inversor entrega a la carga, denominada P_D, durante los cuatro días analizados se evidencia que el sistema diseñado responde eficazmente a los requerimientos establecidos en el perfil de consumo, 90 W para las horas de actividad y 33,3 W durante el resto del día (considerado como periodo de bajo consumo).

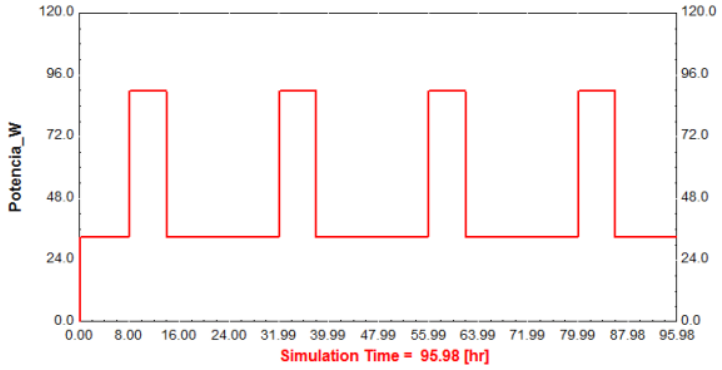


Ilustración 39. Potencia del regulador-Inversor hacia la carga – View 4d
Fuente: Propia, obtenida mediante el software LabVIEW

4.2 PERIODO DE BAJA RADIACIÓN

Luego de haber detallado el comportamiento del sistema solar fotovoltaico diseñado ante cuatro días con diferentes condiciones de radiación, en esta sección se analiza uno de los peores escenarios de radiación solar, esto es un periodo de 15 días del mes de julio, en el que se presentan los valores más bajos de radiación del año promedio simulado, adicionalmente en este espacio de tiempo se presenta una radiación máxima y varias radiaciones medias (ilustración 39), con las cuales se puede analizar de forma global el comportamiento del sistema ante diferentes condiciones de radiación.

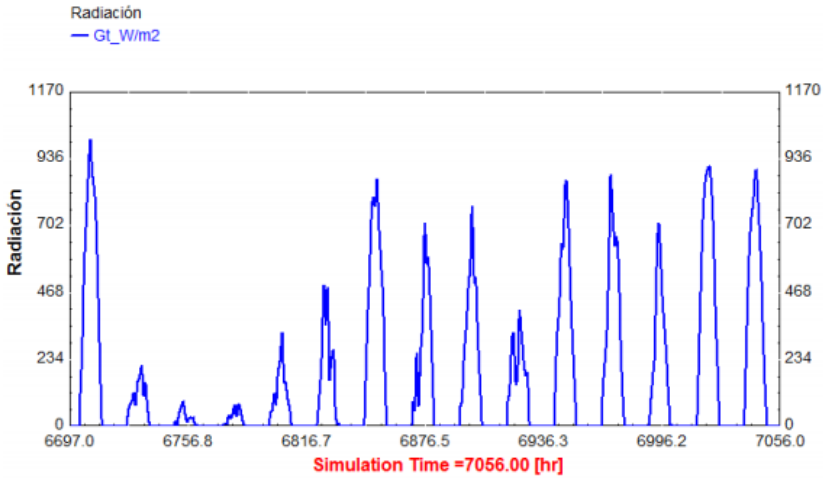


Ilustración 40. Periodo de menor radiación solar
Fuente: Propia, obtenida mediante el software LabVIEW

Los valores de radiación máxima para los 15 días analizados, se presentan en la tabla 5. Donde de acuerdo a los parámetros establecidos como valores típicos de radiación, se consideran como:

- Totalmente soleados los días: primero, séptimo, octavo, noveno y del décimo primero al décimo quinto.
- Parcialmente nublados los días segundo, quinto, sexto y decimo.
- Totalmente nublados los días tercero y cuarto.

Día	Radiación solar máxima (W/m^2)
1	996,2
2	208,8
3	81,86
4	77,69
5	328,7
6	495,5
7	857,2
8	708,7
9	771,3
10	379
11	854,7
12	876,7
13	650,7
14	910,8
15	900

Tabla 5. Radiación solar máxima – Periodo de baja radiación
Fuente: Propia, obtenida mediante Excel

El comportamiento de la potencia máxima generada por la matriz fotovoltaica, durante el periodo de tiempo aquí analizado se presenta en la ilustración 41, en la cual el valor máximo de radiación para este intervalo de tiempo, se alcanza el primer día donde se presenta una potencia de 539 W, y los valores mínimos se presentan los días tercero y cuarto, donde la radiación no supera los 100 W/m2, y con la cual se genera una potencia máxima de 42,7 W.

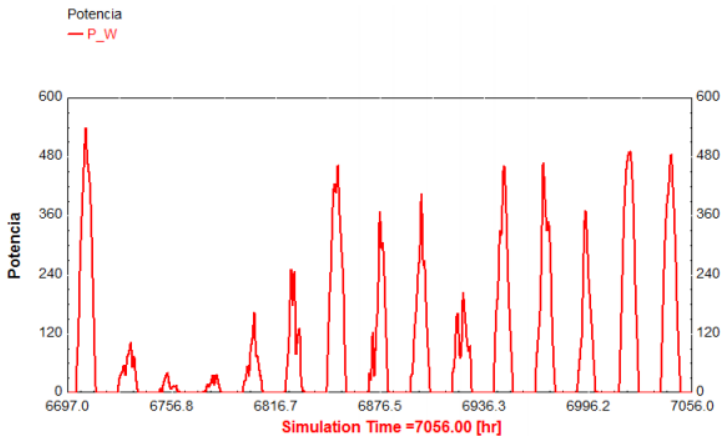


Ilustración 41. Potencia generada por la matriz fotovoltaica - Periodo de menor radiación solar
Fuente: Propia, obtenida mediante el software LabVIEW

El comportamiento de la tensión en el sistema de acumulación, se observa en la ilustración 41, donde el voltaje máximo de carga C_Vc (de color fucsia) y la tensión mínima de descarga D_Vc (línea azul), permanecen constantes en 27,9 V y 21,6 V respectivamente (al igual que en periodo de cuatros días analizado anteriormente).

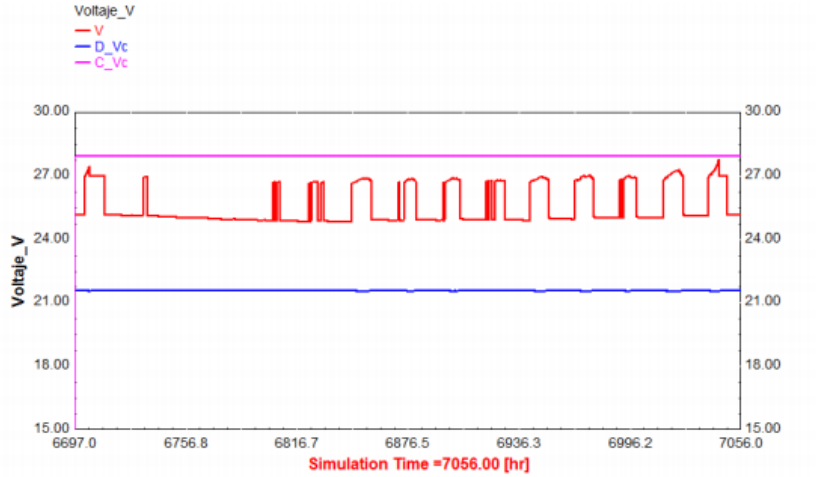


Ilustración 42. Voltajes en la batería - Periodo de menor radiación solar
Fuente: Propia, obtenida mediante software LabVIEW- view 9ª

En cuanto al voltaje de operación V (de color rojo), se evidencia que en el primer día como la radiación solar incidente es óptima, se cumplen los 3 estados de carga. El segundo día solo después de las 14 horas, cuando el requerimiento de potencia se reduce (debido a que la demanda eléctrica entra en el pedido de bajo consumo), se genera una pequeña inducción de tensión a la batería.

Desde el tercer día hasta las 11 horas del quinto día, se genera una mínima cantidad de potencia por parte del arreglo fotovoltaico, en consecuencia, el requerimiento de potencia es suplido por el acumulador, haciendo que se mantenga en fase de descarga y reduciendo de forma progresiva la tensión de la batería.

Durante los días siguientes, la radiación solar incidente es media con presencia de nubosidad, efectuando periodos muy cortos de carga al acumulador, por lo cual, en los momentos en que la radiación es baja, la carga eléctrica es abastecida por la batería, forzando su descarga progresiva hasta obtener un valor mínimo de voltaje de 24,84 V, en el amanecer del séptimo día.

A partir de ese momento, la radiación solar presenta un comportamiento más regular, por lo tanto, los ciclos de carga del acumulador se van haciendo estables de acuerdo a la potencia disponible y el pico de voltaje en la fase de carga se alcanza en el decimoquinto día, cuando el acumulador recupera el 100 % del estado de carga.

El estado de carga de la batería F, se presenta en la ilustración 42, donde se muestra cómo en el primer día con la potencia generada por la matriz fotovoltaica, se abastece el requerimiento eléctrico de la carga, por lo tanto, no es necesaria la energía del acumulador y este permanece totalmente cargado. A partir del anochecer de dicho primer día y hasta el amanecer del día séptimo, la descarga de la batería presenta una tendencia casi lineal debido a la poca radiación solar incidente, alcanzando una descarga máxima de 65,18 %; luego desde ese momento y de acuerdo a la potencia excedente generada por los paneles solares, se efectúa la recarga del acumulador, alcanzado el 100 % en el día quince a las 12:30 horas.

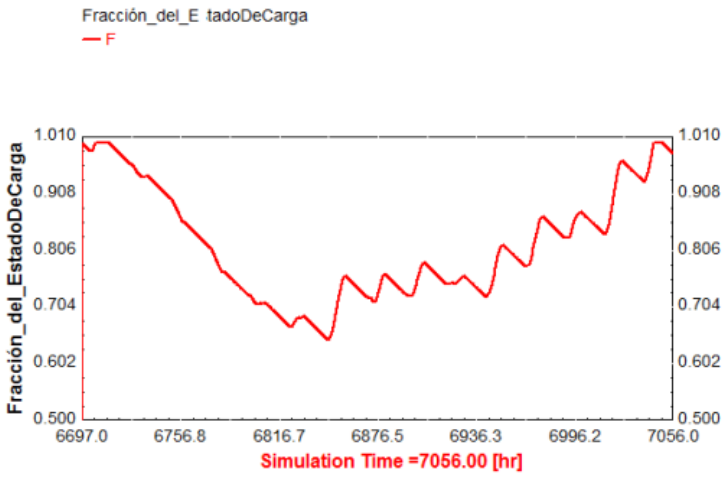


Ilustración 43. Estado de carga - Periodo de menor radiación solar
Fuente: Propia, obtenida mediante software LabVIEW- view 9ª

En la ilustración 43, se analiza el comportamiento de la potencia enviada desde y hacia la batería P_B (de color fucsia), y como esta se relaciona con la tendencia de la potencia requerida por perfil de consumo de la carga P_D (color rojo).

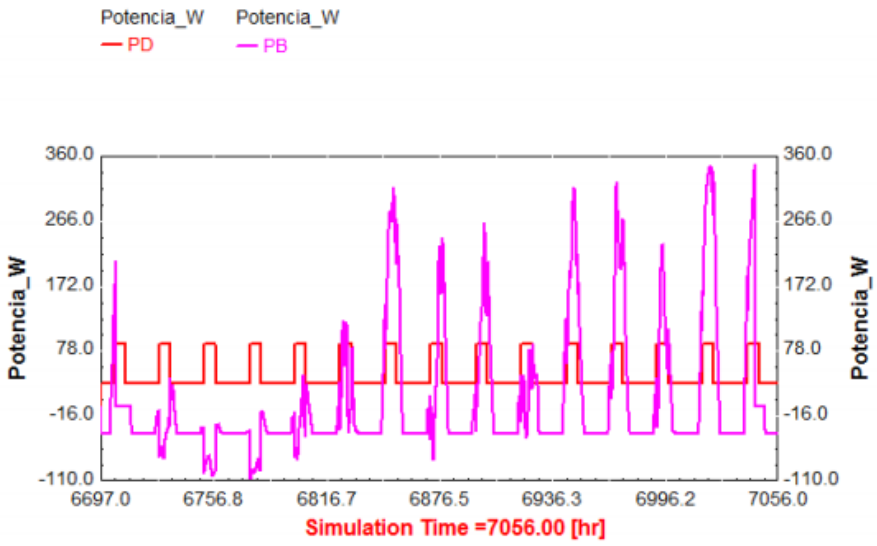


Ilustración 44. Potencia requerida por la carga y Potencia de la batería - Periodo de menor radiación solar
Fuente: Propia, obtenida mediante software LabVIEW – View 9ª

El comportamiento de la potencia enviada por el regulador-inversor a la carga, de acuerdo al perfil requerido por el laboratorio (de color rojo), muestra como el sistema solar fotovoltaico diseñado responde adecuadamente los requerimientos eléctricos de esta, durante los cuatro días previstos como de reserva (a partir del segundo día).

Mediante la línea fucsia en sentido negativo, se muestra como durante los días tercero y cuarto (donde se presentan las radiaciones más bajas), la batería se mantiene de forma permanente entregando la potencia necesaria para abastecer la carga eléctrica. En los periodos de actividad de estos dos días, el acumulador llega a ceder una potencia máxima de 108 W, obteniendo una eficiencia de inversión DC – AC eff_1 del 83 % al transformarse en 90 W para proveer el Load.

Luego de superar adecuadamente los requerimientos de potencia durante los días de reserva diseñados, la línea fucsia en sentido positivo muestra la potencia hacia la batería, donde se necesita de una semana para alcanzar el 100 % del estado carga, debido a que los días décimo y décimo tercero, presentan nuevamente bajas condiciones de radiación solar, haciendo que parte de la potencia demandada por la carga sea suministrada por el acumulador.

Tras hechas estas pruebas satisfactorias del modelado en el software LabVIEW, fue posible comprobar la operación adecuada del sistema solar fotovoltaico y el abastecimiento de energía a la carga del laboratorio de energía renovable, de acuerdo al diseño previsto.

Capítulo 4.3 Análisis y Comparación de Resultados

Este estudio centra su aplicación en el área de los sistemas fotovoltaicos. Tiene por objetivo conseguir un entorno de trabajo que permita analizar la problemática asociada a instalaciones fotovoltaicas desde su diseño hasta su puesta en marcha y posterior explotación.

Se ha escogió LabVIEW como núcleo del entorno de trabajo debido a la gran potencia y flexibilidad que ofrece. En cada apartado, se comenta la problemática asociada a la implementación del modelo correspondiente mediante LabVIEW y se contrastan los resultados con medidas experimentales, realizadas en el Laboratorio de Energía Renovable de la Universidad Nacional de Ingeniería (UNI).

Este trabajo monográfico se organizó de forma que primero se plantearon las bases teóricas de los dispositivos involucrados. A continuación, se planteó un método de extracción automática de parámetros en tablas Excel para monitorear comportamientos del sistema fotovoltaico para ajustar los parámetros internos del modelo de forma automática.

La simulación nos sirve como punto intermedio entre los conceptos teóricos y la realidad. Cuanto mejor sea la expresión que defina a la realidad, mejores serán los resultados, porque serán más reales y, a su vez, nos puede reducir los costos de fabricación, facilitando las tareas de diseño.

Como se muestra en la Tabla No.6 se presenta una visión general y eminentemente de la medición física y de la simulación de maniobra en el diseño modelado en LabVIEW.

Para ello, en primer lugar, se determinaron los resultados obtenidos en cada uno de los métodos utilizados para determinar una comparación y brindar un resultado final basado en un análisis fundamentado experimentalmente en la instalación del sistema fotovoltaico solar propuesto y medidas con la herramienta LabVIEW.

Esta tabla fue complementada con los datos promedios considerados como un clima relativamente nublado generados en tablas Excel a través del monitoreo realizado por el software.

4.3.1 Resultados de la comparación.

Método	Temperatura	Radiación	Humedad	Voltaje	Corriente	Potencia
Simulación LabVIEW	31°C	100 %	14 %	31.18 V	7.2 A	224.49 W
	28°C	95 %	16 %	30.7 V	7 A	214.9 W
	30°C	98 %	15%	31.03 V	7.1 A	220.31 W
Medición Física	29°C	99 %	14%	32.13 V	7.4 A	237.76 W
	32.5°C	100 %	16 %	32.4 V	7.6 A	246.24W
	27.5°C	100 %	14 %	30.3 V	7.3 A	221.19 W

Tabla 6. Tabla de comparación entre simulación y mediciones físicas.
Fuente: Propia, obtenida de Excel

Donde:

- Temperatura: temperatura del panel ideal es 60°c
- Radiación: El 100% de la Radiación es igual a 1,025 W\m^2.
- Humedad: humedad es relativamente (cantidad de agua en el aire; presión)
- Voltaje: tensión máxima de generación del panel es 30 V
- Tensión en vacío: 36.4 V
- Corriente: corriente máxima es 8.33 A
- Potencia: potencia nominal del panel 250 W

Nótese que existe cierta discrepancia entre los resultados obtenidos en ambas mediciones, esto pues, que en la simulación se utilizan parámetros exactos donde no oscilan en lo absoluto los parámetros ni se presentan situaciones ambientales que difieran en las mediciones físicas.

También, se tiene en cuenta las pérdidas de energía en cada bornera y empalme que se realizaron en la instalación tanto del panel solar como del arreglo de sensores con la tarjeta Arduino, sabemos que cada equipo que se utiliza para las mediciones físicas tiene que recibir tensión y esto hace que haya fluctuaciones en los resultados de dichas mediciones.

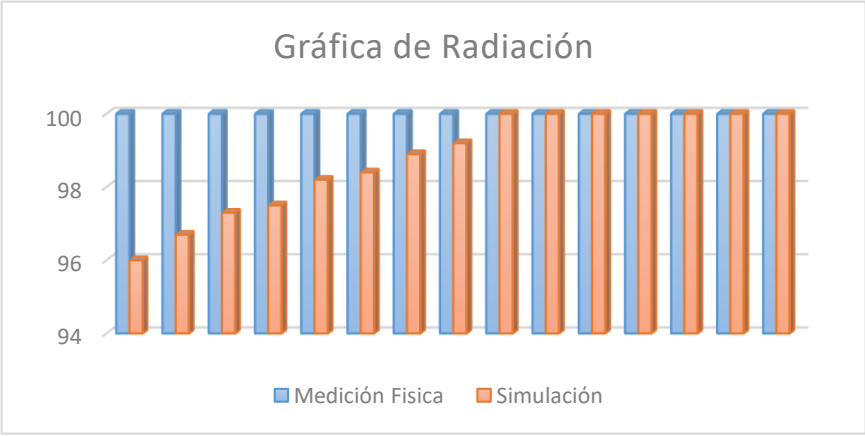
Por otro lado, los resultados obtenidos de la simulación son más próximos a los datos de generación nominales de placas de cada uno de los parámetros eléctricos. Para observar la discrepancia existente, se realizaron cuatro comparaciones cada hora durante 15 minutos.

4.3.2 Primer estudio. Comparación con datos de Radiación.

Metodo	Tiempo	T. Panel	Humedad	Radiación	T. Ambiente	Voltaje	Tensión	Corriente
	0	0°C	0%	0%	0%	0 V	0 W	-
	1	32°C	13%	100%	42%	28 V	173. 6 W	6.2 A
	2	31°C	13%	100%	42%	28.7 V	192.29 W	6.7 A
	3	34°C	13%	100%	42%	29.6 V	204.24 W	6.9 A
	4	40°C	14%	100%	42%	30.3 V	210.21 W	7.01 A
	5	39°C	14%	100%	42%	30.7 V	215.5 W	7.02 A
	6	31°C	14%	100%	42%	31.2 V	219.96 W	7.05 A
Simulación	7	55°C	14%	100%	42%	31. 6 V	224.04 W	7.09 A
	8	39°C	14%	100%	42%	31.8 V	225.46 W	7.09 A
	9	39°C	14%	100%	42%	32 V	227 W	7.1 A
	10	42°C	14%	100%	42%	32 V	227 W	7.1 A
	11	41°C	15%	100%	42%	32.2 V	235 W	7.3 A
	12	51°C	15%	100%	42%	32.4 V	236 W	7.3 A
	13	35°C	15%	100%	42%	32.7 V	238 W	7.3 A
	14	32°C	15%	100%	42%	32.8 V	246 W	7.5 A
	15	31°C	15%	100%	42%	33 V	254 W	7.7 A
	0	0°C	0	0	0	0	0	0
	1	31°C	15%	96.0%	38%	29.8 V	193.63 W	6.7 A
	2	30°C	15%	96.7%	39%	30.02 V	211.04 W	7.03 A
	3	32°C	15%	96.7%	39%	30.09 V	213.03 W	7.08 A
	4	34°C	15%	98.0%	40%	31.1 V	218.32 W	7.02 A
	5	38°C	15%	98.4%	40%	31.1 V	218.32 W	7.02 A
	6	33°C	15%	98.9%	40%	31.1 V	218.32 W	7.02 A
Medición	7	45°C	14%	99.2%	40%	31.1 V	218.32 W	7.02 A
Fisica	8	37°C	14%	100.0%	40%	31.1 V	218.32 W	7.02 A
	9	38°C	14%	100.0%	40%	31.1 V	218.32 W	7.02 A
	10	46°C	14%	100.0%	40%	31.2 V	219.64 W	7.04 A
	11	40°C	14%	100.0%	40%	31.6 V	224.04 W	7.09 A
	12	40°C	15%	100.0%	40%	31.9 V	226.49 W	7.1 A
	13	48°C	15%	100.0%	40%	31.9 V	229.68 W	7.2 A
	14	35°C	15%	100.0%	40%	32.12 V	233.4 W	7.5 A
	15	31°C	15%	100.0%	40%	32.13 V	250.61 W	7.8 A

Tabla 7. Tabla de comparación 1 entre simulación y mediciones físicas.
Fuente: Propia, obtenida de Excel

Se escogió un intervalo de tiempo del cual se realizaron las mediciones físicas y la simulación (Radiación) para obtener visualmente una variación entre dichas mediciones reflejadas gráficamente a continuación.



Gráfica 2. Discrepancia de datos de Radiación.
Fuente: Propia, obtenida de Word

Medición para la obtención de datos de parámetros eléctricos de Paneles Solares

- Simulación con el Software LabVIEW
- Medición Física con el Software LabVIEW

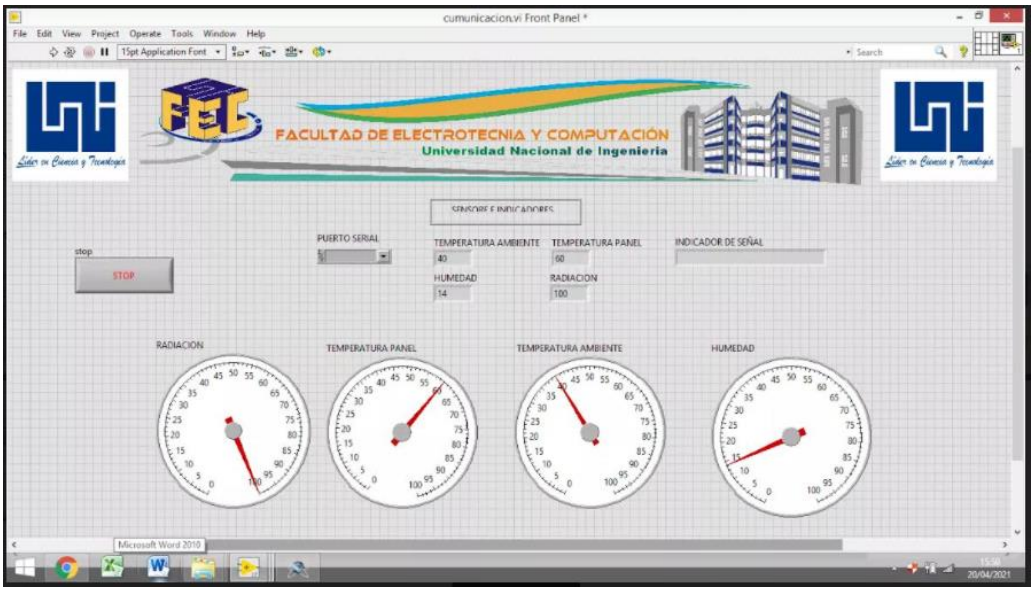


Ilustración 45. Simulación para la obtención de datos de parámetros eléctricos de Paneles Solares
Fuente: Propia, obtenida del Software LabVIEW

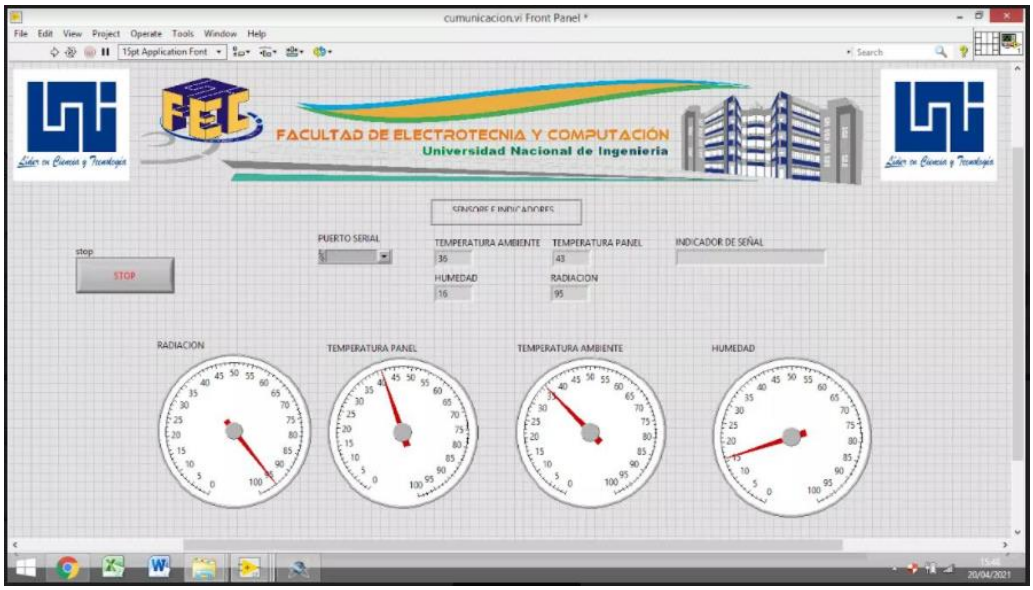


Ilustración 46. Medición Física para la obtención de datos de parámetros eléctricos de Paneles Solares
Fuente: Propia, obtenida del Software LabVIEW

El sistema de monitoreo permite la medición de energía solar generada por un sistema fotovoltaico, en tiempo real, es decir, resume la productividad de los paneles solares y que ayuda a determinar si existen problemas en la producción de energía solar**.**

Un monitoreo nos permite darle un seguimiento remoto al sistema solar que instalamos esto para poder verificar si el sistema está funcionando correctamente o no, esto es importante ya que una vez que se tenga el sistema instalado. En caso de no tener el monitoreo, la única manera de verificarlo es inspeccionar físicamente el sistema.

Partiendo de ello, determinamos que la diferencia existente en cada medición se rige en los diversos escenarios ambientales que puede enfrentar la generación, sea estos, clima nublado, suciedad, sombras que interfieran en la obtención de la radiación o en la ubicación de los paneles solares (Medición física).

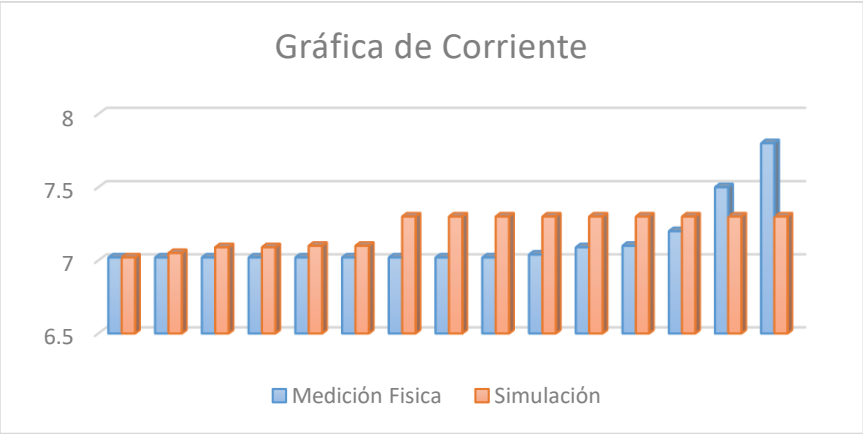
En cuanto a la Simulación, no determina estos escenarios sino existe intervención humana que se dicte cambios que posiblemente pueda enfrentar la instalación.

4.3.3 Segundo estudio. Comparación con datos de Corriente.

Metodo	Tiempo	T. Panel	Humedad	Radiación	T. Ambiente	Voltaje	Tensión	Corriente
	0	0°C	0%	0%	0%	0 V	0 W	-
	1	31°C	14%	98%	41%	30.7 V	215.5 W	7.02 A
	2	31°C	14%	98%	41%	30.7 V	219.96 W	7.05 A
	3	33°C	14%	100%	41%	31. 6 V	224.04 W	7.09 A
	4	34°C	14%	100%	41%	31.8 V	225.46 W	7.09 A
	5	39°C	14%	100%	41%	31.8 V	225.46 W	7.1 A
	6	31°C	14%	100%	41%	32 V	227 W	7.1 A
Simulación	7	55°C	14%	100%	41%	32.2 V	235 W	7.3 A
	8	39°C	14%	100%	41%	32.2 V	235 W	7.3 A
	9	39°C	14%	100%	41%	32.2 V	235 W	7.3 A
	10	42°C	14%	100%	41%	32.4 V	236W	7.3 A
	11	41°C	15%	100%	41%	32.4 V	236W	7.3 A
	12	51°C	15%	100%	41%	32.4 V	236W	7.3 A
	13	35°C	15%	100%	42%	32.4 V	236W	7.3 A
	14	32°C	15%	100%	42%	32.4 V	236W	7.3 A
	15	31°C	15%	100%	42%	32.4 V	236W	7.3 A
	0	0°C	0	0	0	0	0	0
	1	31°C	14%	96.0%	40%	31.1 V	218.32 W	7.02 A
	2	30°C	14%	96.7%	39%	31.1 V	218.32 W	7.02 A
	3	32°C	14%	96.7%	39%	31.1 V	218.32 W	7.02 A
	4	34°C	14%	96.7%	40%	31.1 V	218.32 W	7.02 A
	5	38°C	15%	98.4%	40%	31.1 V	218.32 W	7.02 A
	6	33°C	15%	98.9%	40%	31.1 V	218.32 W	7.02 A
Medición	7	45°C	14%	99.2%	40%	31.1 V	218.32 W	7.02 A
Fisica	8	37°C	14%	100.0%	40%	31.1 V	218.32 W	7.02 A
	9	38°C	14%	100.0%	40%	31.1 V	218.32 W	7.02 A
	10	46°C	14%	100.0%	40%	31.2 V	219.64 W	7.04 A
	11	40°C	14%	100.0%	40%	31.6 V	224.04 W	7.09 A
	12	40°C	15%	100.0%	40%	31.9 V	226.49 W	7.1 A
	13	48°C	15%	100.0%	40%	31.9 V	229.68 W	7.2 A
	14	35°C	15%	100.0%	40%	32.12 V	233.4 W	7.5 A
	15	31°C	15%	100.0%	40%	32.13 V	250.61 W	7.8 A

Tabla 8. Tabla de comparación 2 entre simulación y mediciones físicas.
Fuente: Propia, obtenida de Excel

Se escogió un intervalo de tiempo del cual se realizaron las mediciones físicas y la simulación (Corriente) para tener aún una determinación visual de la dispersión entre dichas mediciones reflejadas gráficamente a continuación.



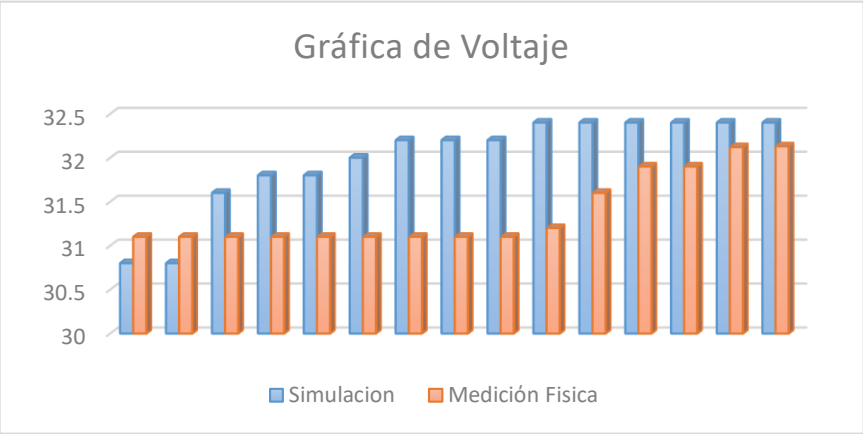
Gráfica 3. Discrepancia de datos de Corriente.
Fuente: Propia, obtenida de Word

4.3.4 Tercer estudio. Comparación con datos de Voltaje

Metodo	Tiempo	T. Panel	Humedad	Radiación	T. Ambiente	Voltaje	Tensión	Corriente
	0	0°C	0%	0%	0%	0 V	0 W	-
	1	32°C	14%	99%	41%	30.8 V	216.37	7.05 A
	2	31°C	14%	98%	41%	30.8 V	216.37	7.05 A
	3	33°C	14%	100%	41%	31. 6 V	224.04 W	7.09 A
	4	34°C	14%	100%	41%	31.8 V	225.46 W	7.09 A
	5	39°C	14%	100%	41%	31.8 V	225.46 W	7.1 A
	6	31°C	14%	100%	41%	32 V	227 W	7.1 A
Simulación	7	55°C	14%	100%	41%	32.2 V	235 W	7.3 A
	8	39°C	14%	100%	41%	32.2 V	235 W	7.3 A
	9	39°C	14%	100%	41%	32.2 V	235 W	7.3 A
	10	42°C	14%	100%	41%	32.4 V	236W	7.3 A
	11	41°C	15%	100%	41%	32.4 V	236W	7.3 A
	12	49°C	15%	100%	41%	32.4 V	236W	7.3 A
	13	35°C	15%	100%	42%	32.4 V	236W	7.3 A
	14	32°C	15%	100%	42%	32.4 V	236W	7.3 A
	15	31°C	15%	100%	42%	32.4 V	236W	7.3 A
	0	0°C	0	0	0	0	0	0
	1	31°C	15%	97.0%	40%	31.1 V	218.32 W	7.02 A
	2	30°C	15%	97.2%	39%	31.1 V	218.32 W	7.02 A
	3	32°C	15%	97.2%	39%	31.1 V	218.32 W	7.02 A
	4	34°C	15%	97.0%	40%	31.1 V	218.32 W	7.02 A
	5	38°C	15%	98.4%	40%	31.1 V	218.32 W	7.02 A
	6	33°C	15%	98.9%	40%	31.1 V	218.32 W	7.02 A
Medición	7	45°C	14%	99.2%	40%	31.1 V	218.32 W	7.02 A
Fisica	8	37°C	14%	100.0%	40%	31.1 V	218.32 W	7.02 A
	9	38°C	14%	100.0%	40%	31.1 V	218.32 W	7.02 A
	10	46°C	14%	100.0%	41%	31.2 V	219.64 W	7.04 A
	11	40°C	14%	100.0%	41%	31.6 V	224.04 W	7.09 A
	12	40°C	15%	100.0%	41%	31.9 V	226.49 W	7.1 A
	13	48°C	15%	100.0%	40%	31.9 V	229.68 W	7.2 A
	14	35°C	15%	100.0%	40%	32.12 V	233.4 W	7.5 A
	15	31°C	15%	100.0%	40%	32.13 V	250.61 W	7.8 A

Tabla 9. Tabla de comparación 3 entre simulación y mediciones físicas.
Fuente: Propia, obtenida de Excel

Se escogió un intervalo de tiempo del cual se realizaron las mediciones físicas y la simulación (Voltaje) para tener aún una determinación más profunda de la dispersión entre dichas mediciones reflejadas gráficamente a continuación.



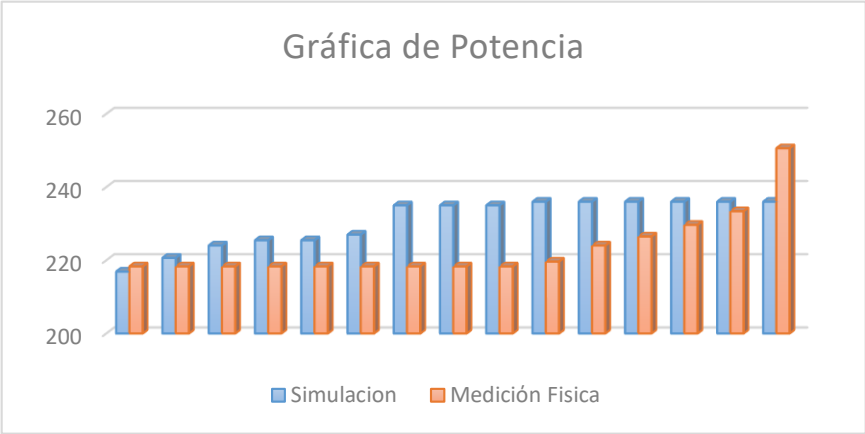
Gráfica 4. Discrepancia de datos de Voltaje.
Fuente: Propia, obtenida de Word

4.3.5 Cuarto estudio. Comparación con datos de Potencia.

Metodo	Tiempo	T. Panel	Humedad	Radiación	T. Ambiente	Voltaje	Tensión	Corriente
	0	0°C	0%	0%	0%	0 V	0 W	-
	1	31°C	14%	98%	40%	30.9 V	216.9W	7.02 A
	2	31°C	14%	98%	40%	31.3 V	220.66W	7.05 A
	3	33°C	14%	100%	41%	31. 6 V	224.04 W	7.09 A
	4	34°C	14%	100%	41%	31.8 V	225.46 W	7.09 A
	5	39°C	14%	100%	41%	31.8 V	225.46 W	7.1 A
	6	31°C	14%	100%	41%	32 V	227 W	7.1 A
Simulación	7	55°C	14%	100%	41%	32.2 V	235 W	7.3 A
	8	39°C	14%	100%	41%	32.2 V	235 W	7.3 A
	9	39°C	14%	100%	41%	32.2 V	235 W	7.3 A
	10	42°C	14%	100%	41%	32.4 V	236W	7.3 A
	11	41°C	15%	100%	41%	32.4 V	236W	7.3 A
	12	51°C	15%	100%	41%	32.4 V	236W	7.3 A
	13	35°C	15%	100%	42%	32.4 V	236W	7.3 A
	14	32°C	15%	100%	42%	32.4 V	236W	7.3 A
	15	31°C	15%	100%	42%	32.4 V	236W	7.3 A
	0	0°C	0	0	0	0	0	0
	1	31°C	14%	96.0%	40%	31.1 V	218.32 W	7.02 A
	2	30°C	14%	96.7%	39%	31.1 V	218.32 W	7.02 A
	3	32°C	14%	96.7%	39%	31.1 V	218.32 W	7.02 A
	4	34°C	14%	96.7%	40%	31.1 V	218.32 W	7.02 A
	5	38°C	15%	98.4%	40%	31.1 V	218.32 W	7.02 A
	6	33°C	15%	98.9%	40%	31.1 V	218.32 W	7.02 A
Medición	7	45°C	14%	99.2%	40%	31.1 V	218.32 W	7.02 A
Fisica	8	37°C	14%	100.0%	40%	31.1 V	218.32 W	7.02 A
	9	38°C	14%	100.0%	40%	31.1 V	218.32 W	7.02 A
	10	46°C	14%	100.0%	40%	31.2 V	219.64 W	7.04 A
	11	40°C	14%	100.0%	40%	31.6 V	224.04 W	7.09 A
	12	40°C	15%	100.0%	40%	31.9 V	226.49 W	7.1 A
	13	48°C	15%	100.0%	40%	31.9 V	229.68 W	7.2 A
	14	35°C	15%	100.0%	40%	32.12 V	233.4 W	7.5 A
	15	31°C	15%	100.0%	40%	32.13 V	250.61 W	7.8 A

Tabla 10. Tabla de comparación 4 entre simulación y mediciones físicas.
Fuente: Propia, obtenida de Excel

Se escogió un intervalo de tiempo del cual se realizaron las mediciones físicas y la simulación (Potencia) para tener aún una determinación más profunda de la dispersión entre dichas mediciones reflejadas gráficamente a continuación.



Gráfica 5. Discrepancia de datos de Potencia.
Fuente: Propia, obtenida de Word

4.3.5.1 Monitoreo de comportamiento de la generación de energía de los paneles solares en vacío.

Estas mediciones se realizaron para determinar los parámetros de generación que presentan los paneles solares cuando no se les conecta carga y estos se encuentran en generación activa. En las ilustraciones 46 y 47 se muestran los valores de los parámetros eléctricos:

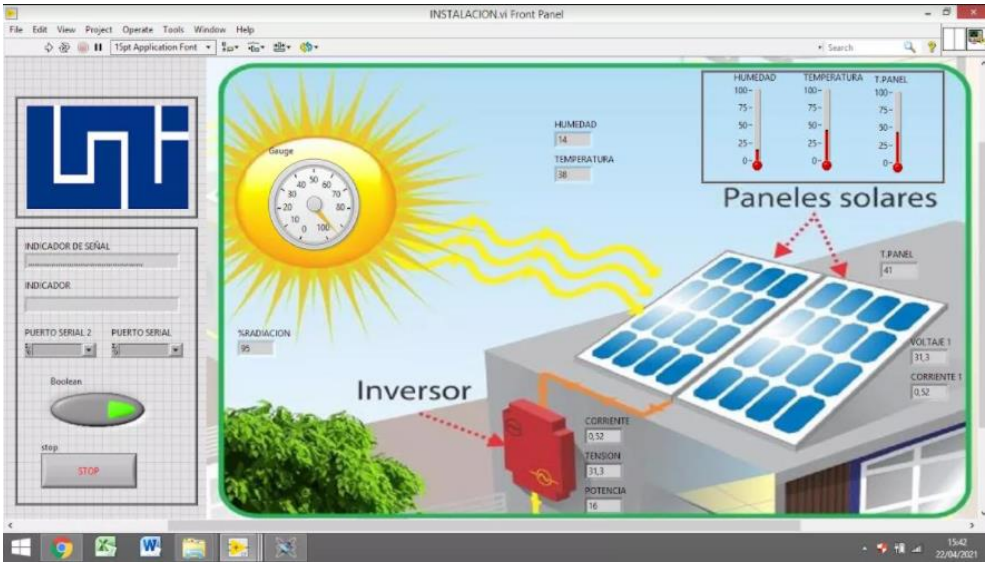


Ilustración 47. Simulación en vacío de Paneles Solares
Fuente: Propia, obtenida del Software LabVIEW

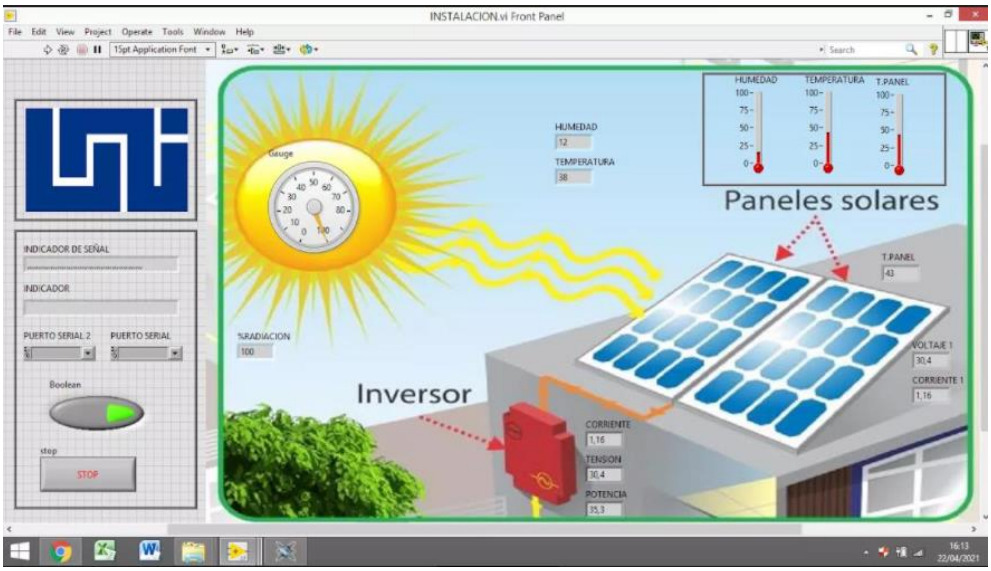


Ilustración 48. Medición Física en vacío de Paneles Solares
Fuente: Propia, obtenida del Software LabVIEW

Estas mediciones se realizaron para comprobar el buen funcionamiento de una placa solar, y comprobarlas en la ficha técnica del panel, este dato variará según la irradiación, cuanto menor sea la irradiación menor corriente obtendremos del panel, el voltaje oscilara entre los 24V – 30V según el tipo de panel utilizado.

Con el presente análisis comparativo entre la simulación y las mediciones físicas, donde se obtuvieron de los parámetros eléctricos en la instalación del sistema de generación de energía, usando paneles solares, se dedujo que:

- Determinar el rendimiento técnico del sistema instalado.
- Nos permite tener una visualización física y lógica de nuestro sistema, además de que podemos analizar de forma individual cada módulo y todo el sistema.
- De no existir un correcto monitoreo del sistema de energía solar, las consecuencias pueden variar desde el funcionamiento deficiente hasta un incremento del monto de mantenimiento por daños en el sistema.
- Podemos análisis comparativos de producción y análisis de fallas. Nos presenta datos históricos los cuales nos son útiles para ver como genera electricidad nuestro sistema.
- Nos ayuda a genera informes con tablas Excel con datos en tiempo real del estado técnico de la producción de energía.

Se logró determinar que las mediciones realizadas con un mayor a proximidad al comportamiento estándar de instalaciones de sistemas fotovoltaicos surgió de la implementación del software LabVIEW con conexión de sensores físicos, puesto que, se obtienen de ello datos reales de diversos escenarios que pueden presentarse en una instalación solar para la generación de energía, podría considerarse el software LabVIEW como un instrumento de uso regular, dada su utilidad para los estudios de aplicación de la energía solar.

5. Estudio de factibilidad para la implementación del laboratorio.

5.1 Factibilidad de Operación

El diseño en el laboratorio de Energías Renovable de la Facultad de Electrotecnia y Computación de la UNI, responder a las necesidades eléctricas del mismo, predominando la seguridad, funcionamiento y la eficiencia: en cuanto a la demanda de consumo de dicho laboratorio, se propone la instalación de un sistema solar fotovoltaico para que pueda suplir la demanda de consumo de este y minimizar los costos de operación de este.

Esta propuesta no solamente resalta por la propuesta de un laboratorio donde supla la demanda del consumo un sistema solar fotovoltaico, sino, también que sirva como una estación experimental donde se afiancen los conocimientos teóricos obtenidos en el aula de clase por los estudiantes de ingeniería eléctrica, donde se implementa un monitoreo continuo de las variables eléctricas que favorecen o interfieran en la producción de energía obtenida de la radiación solar a través de un sistema fotovoltaico.

En Laboratorio de Energías Renovables, donde se desea proponer la implementación de módulos de monitoreo de variables eléctricas y climáticas de un sistema solar fotovoltaico que albergue al menos 3 grupos de estudiantes con una capacidad de 5 alumnos en cada módulo, teniendo un total de 15 estudiantes para cada sección experimental.

Se estimó la demanda de consumo del laboratorio para su funcionamiento para el correcto dimensionamiento de un sistema fotovoltaico donde este sea capaz de responder las necesidades energéticas del laboratorio.

Estimación del consumo de energía eléctrica

La carga eléctrica consumida por el laboratorio se registra mediante visitas técnicas, operación y tiempo de funcionamiento de cada uno de los equipos.

Equipos	Operación	Potencia	Energía
Eléctricos	(h\ día)	(w\h)	(wh\ día)
aire acondicionado	5	34	170
lámparas	5	14	630
equipos varios	3	19	342
		67	1142

Tabla 3. Consumo eléctrico del laboratorio.
Fuente: Propia, obtenida mediante censo de carga en el laboratorio.

Sin embargo, la carga eléctrica establecida por el sistema solar fotovoltaico a diseñar, se tomó como la mínima básica para asegurar la operación del Laboratorio de Energías Renovables de la Facultad de Energías Renovables de la UNI. El proceso del funcionamiento de este laboratorio será parte de la experimentación donde los estudiantes de ingeniería eléctrica podrán monitorear en tiempo real las variables eléctricas y replicar el funcionamiento del mismo como parte de las tareas a realizar en el laboratorio.

Capacidad o tamaño de generación

Para que la capacidad del sistema fotovoltaico pueda suplir con la demanda de consumo del Laboratorio de Energías Renovables, se determinó que la capacidad o tamaño de generación debe ser de 1,340Wh-dia donde se cumple con el sobre dimensionamiento de un sistema de generación del 20% dependiendo de su demanda diaria referida.

Por lo que se asume un número de tres paneles fotovoltaicos; Siendo iguales las tensiones nominales (en 24 V) tanto de los módulos solares como del sistema DC, los paneles deben conectarse en paralelos. Un banco de baterías de plomo acido con un número de días de reserva de 4 días considerando principios básicos de diseño de un sistema fotovoltaico y un inversor con potencia mayor a la potencia de la carga para que no trabaje de manera forzada.

Cantidad	Equipo	Descripcion
3	Modulo solar fotovoltaico monocristalino	250W - 24V
4	Baterias de plomo acido	300Ah - 12V
1	Regulador-Inverosr	500W 24V DC - 120V AC

Tabla 4. Elementos del sistema solar diseñado
Fuente: Propia, obtenida mediante Excel.

Dando paso a un diseño propuesto de un sistema solar fotovoltaico para suplir las necesidades energéticas del laboratorio de Energías Renovables para el monitoreo continuo de las variables eléctricas que afectan la producción de energía, con el fin de afianzar los conocimientos teóricos obtenidos en el aula de clases por los estudiantes de Ingeniería Eléctrica y llevar estos conocimientos a la experimentación física.

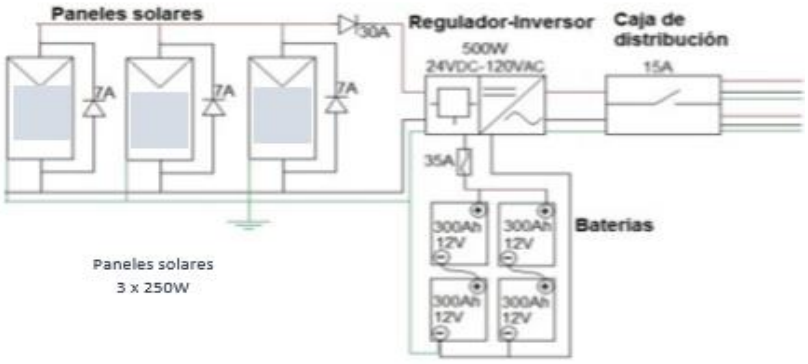


Ilustración 23. Plano eléctrico del diseño propuesto
Fuente: Propia, elaborada con Publisher.

5.2 Factibilidad técnica

El Laboratorio de Energía Renovables se encuentra en una zona donde se presenta una radiación solar propicia para la implementación de un sistema solar fotovoltaico, donde la radiación promedio mensual es de 1000Wh-dia suficiente para suplir la demanda de consumo del laboratorio, donde se cuenta con tres módulos de panales Trina Solar de 250W de tipo mono cristalino, dos inversores de 500W suficiente potencia para manejar la potencia de la carga sin forzar el equipo.

El software LabVIEW es un instrumento que lo podemos encontrar de manera gratis en la web y descargarlo sin costo alguno, es una herramienta amplia para realizar diversos estudios y aplicaciones dada a sus capacidades y bondades.

Para el monitoreo de la instalación del sistema solar fotovoltaico se cuenta con el Software LabVIEW, el cual es un software capaz de obtener los parámetros en tiempo real de una instalación fotovoltaica y es propicio para esta implementación gracias a su fácil diseño y programación, gran capacidad de almacenamiento de datos y a la adquisición de tablas y gráficas para realizar estudios tales como factibilidad y comportamiento de las instalaciones fotovoltaicas.

Constamos con sensores que facilitan la adquisición de datos análogos de los factores que favorecen o interfieren en un sistema solar fotovoltaico, estos sensores son DTH11, LM35, fotorresistencia y un ASCR712; cada uno con una tarea de medición específica, medición de humedad relativa, temperatura ambiente, temperatura del panel y medidor de corriente.

Además, se cuenta con conocimientos de programación para adaptación de sensores utilizados en las mediciones físicas a través de tarjetas Arduino para la conexión y reconocimiento de datos con el software LabVIEW.

CONCLUSIONES

La realización del presente trabajo monográfico tuvo como objetivo proponer la implementación un laboratorio para el monitoreo y recopilación de información del comportamiento de sistemas fotovoltaicos a través del software LabVIEW para el estudio del rendimiento del sistema generación de energía como solución a la necesidad expuesta en este documento en forma precisa y metodológica se planteó el objetivo general y los objetivos específicos, los cuales se cumplieron en su totalidad permitiendo llegar a las siguientes conclusiones

- Se realizó en laboratorio de energía renovable una estación experimental que utiliza un sistema solar fotovoltaico para supliendo la demanda de consumo eléctrico del laboratorio, lo que permitirá a los estudiantes de la carrera de Ingeniería Eléctrica puedan realizar prácticas para afianzar los conocimientos teóricos adquiridos en el aula de clase.
- En el estudio para determinar viabilidad de la reactivación del laboratorio de Energías Renovables de la Facultad de Electrotecnia y Computación de la universidad Nacional de Ingeniería, se determinó que existe factibilidad técnica y de operación para llevar a cabo esta implementación. Se cuenta con la radiación solar necesaria para suplir la demanda del laboratorio, conocimientos de programación para el diseño y programación del software, adquisición gratuita del software LabVIEW, y facilitación de tarjetas Arduino y sensores para llevar a cabo el monitoreo continuo del sistema de generación.
- Se diseñó y programó una interfaz que conecta los paneles solares fotovoltaicos con el software LabVIEW y que permite monitorear las variables eléctricas de un sistema solar fotovoltaico, dicho sistema podrá ser utilizado por los estudiantes de la carrera de ingeniería eléctrica o personal que se interesen en este tipo de estudio.
- Se demostró mediante el monitoreo continuo de los parámetros eléctricos usando del software LabVIEW que la producción de energía eléctrica del sistema solar fotovoltaico que, a pesar de la variación de radiación solar existente en el Laboratorio de Energías Renovables de la UNI, se puede suplir las necesidades energéticas del mismo.
- Se realizaron análisis y comparaciones del comportamiento del sistema solar fotovoltaico a través de los datos obtenidos por el software LabVIEW donde se determinó la factibilidad de producción de energía obtenida de la radiación solar.

RECOMENDACIONES

- Implementar la propuesta del laboratorio que permita lo más pronto posible que los estudiantes de la carrera de ingeniería eléctrica puedan usar el sistema diseñado y programado mediante LabVIEW, Arduino y, a su vez, una visualización e interacción con los equipos del hardware implementado para consolidar conocimientos académicos adquiridos en el aula de clase de los estudiantes de ingeniería eléctrica de la Universidad Nacional de Ingeniería.

- El sistema se propuso para funcionar en el laboratorio de energías renovables puede ser útil fuera de las aulas de clase y utilizados para promover el uso de la energía solar, por lo que se recomienda promoverlo mediante algunas entidades gubernamentales que estén interesadas en mejorar la calidad de vida en algunas zonas de Nicaragua donde no se cuente con un servicio eléctrico

- Se sugiere que la experiencia en este laboratorio, se amplíe la potencia de generación de energía eléctrica para suplir la demanda de consumo eléctrico de laboratorios o instalaciones vecinas a éste.

- Para garantizar un buen aprovechamiento y funcionamiento del sistema diseñado y programado en LabVIEW y Arduino, se sugiere desarrollar un manual de uso de la programación desarrollada en la presente tesis de forma que estos conocimientos puedan ser aprovechados por los estudiantes de la carrera de Ingeniería Eléctrica.

- Conocidas las capacidades y bondades del software LabVIEW, podría considerarse convertirlo en un instrumento de uso regular, dada su utilidad para los estudios de aplicación de la energía solar.

Bibliografía

ALONSO ABELLA, Miguel. Dimensionamiento de sistemas fotovoltaicos autónomos. Madrid: Laboratorio de energía Solar, CIEMAT.

CRUZ LAZO, Edwin Gabriel. Diseño y simulación del comportamiento de un sistema híbrido de potencia. Perú, 2010. Trabajo de investigación (Ingeniero Mecánico — Eléctrico). Universidad de Piura. Facultad de Ingeniería. Área Departamental de Ingeniería Mecánico-Eléctrica.

DAVIS INSTRUMENT. Manual Vantage Pro 2 console Book, 2004.

DELGADO TRUJILLO, Eduardo. Diseño de una instalación y alimentación eléctrica de un comedor industrial por medio de generación distribuida. México, 2010. Trabajo de investigación. Universidad Nacional Autónoma de México. Facultad de Ingeniería. Departamento Ingeniería Eléctrica – Electrónica.

DEPARTMENT OF INDUSTRY, Australian Government. {En línea}. {07 mayo de 2013}. Disponible en http://ee.ret.gov.au/node/1294.

DINIZ, A.S.A.C., et al. The Important Contribution of Photovoltaics in a Rural School Electrification Program. En, Conference Record of the 2006 IEEE 4th World Conference on Photovoltaic Energy Conversion. Vol. 2, (May 2006); p. 2528 – 2531.

EGIDO AGUILERA, Miguel Ángel; CAAMAÑO MARTÍN, Estefanía. Energía solar fotovoltaica para la electrificación del medio rural. En Energía Participación y sostenibilidad. Tecnología para el desarrollo humano. Primera edición (Feb 2006); p 157 – 172.

ENERGÍAS RENOVABLES. La OEI presenta en Madrid el proyecto “Luces para aprender”.

ESCUELA TÉCNICA N° 17 CORNELIO SAAVEDRA, Departamen to de Eléctrica. Proyecto SOLARES, Escuelas con Energía. {En línea}. {23 octubre de 2011}. Disponible en http://www.oni.escuelas.edu.ar/2005/GCBA/803/

FERNÁNDEZ FERICHOLA, Julio. Caracterización de módulos fotovoltaicos con dispositivo portátil. España, 2009. Trabajo de investigación (Ingeniería Técnica en Electricidad). Universidad Carlos III de Madrid. Departamento de Tecnología Electrónica.

FIRMANDA AL RIZA, Dimas; Syed Ihtsham Ul Haq Gilani, Mohd. Shiraz Bin Aris. Measurement and Simulation of Standalone Solar PV System for Residential Lighting in Malaysia. En EFEEA’10 International Symposium on Environment Friendly Energies in Electrical Applications (Nov 2010).

GARCÍA MÁRQUEZ, Rogelio. Puesta a tierra de instalaciones eléctricas. Alfaomega, 1999.

GIMENO SALES, Fco. J. SEGUÍ CHILET, Salvador. ORTS GRAU, Salvador. Convertidores Electrónicos: Energía solar fotovoltaica, aplicaciones y diseño. España: Universidad Politécnica de Valencia, 2002.

GOBERNACIÓN DE BOYACÁ. Despacho de Gobernador-Hacienda-Desarrollo Humano. Boletín extraordinario 24 de marzo de 2009.

GONZÁLEZ MARCELO, Raúl. Modelado y propuestas para el control de un lazo de colectores cilindro parabólicos. España, 2009. Trabajo Fin de grado (Master en Automática, Robótica y Telemática). Universidad de Sevilla. Departamento de Ingeniería de Sistemas y Automática.

MARTÍNEZ ESPINOZA, Jean Daniel. Evaluación económica de un sistema fotovoltaico en punta arenas con diseño de emulación de potencia suministrada por paneles solares. Punta Arenas, Chile, 2011. Trabajo de investigación (Ingeniero de ejecución en electricidad). Universidad de Magallanes. Facultad de Ingeniería. Departamento de electricidad.

MARTÍNEZ REQUENA, Juan J.; TOLEDANO GASCA, José C. Puesta a tierra en edificios y en instalaciones eléctricas. Paraninfo, 2001.

MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA DE PERÚ. Guía del consumo y facturación de energía eléctrica cliente regulado BT5 B residencial (abril, 2009). Disponible en http://intranet.minem.gob.pe/AppWeb/DGE/CalculoConsumo

MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA. Memorias al Congreso de la República 2009 – 2010. Sector energía eléctrica (2010). Disponible en http://www.minminas.gov.co/minminas/downloads/UserFiles/File/Memorias/Memorias_2010/04-energia_electrica%20(2).pdf

NINA E., Edgar. DIMENSIONAMIENTO Y EVALUACIÓN ECONÓMICA DE SFV. En XVIII Simposio Peruano de Energía Solar, 14 al 18 de noviembre de 2011. Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú. Centro de Energías Renovables y Uso Racional de la Energía.

OEI, Luces para aprender. {En línea}. {19 septiembre de 2012} disponible en: http://www.oei.es/Lucesparaaprender.pdf

ORTEGA RODRÍGUEZ, Mario. Energías renovables. Ediciones Paraninfo, 2001.

PEREDA SOTO, Isidro Elvis. Celdas fotovoltaicas en generación distribuida. Santiago de Chile, 2005. Trabajo de investigación (Ingeniero Civil Industrial Mención Electricidad). Pontificia universidad católica de chile. Escuela de ingeniería. Departamento de ingeniería eléctrica.

REDFE. Red de fuentes de energía CONACYT: Estado del arte de la investigación en fuentes de energía y políticas públicas. México. {En línea}. {17 junio de 2014}. Disponible en http://www.redfe.org.mx/es/images/redfe/estado-de-artetotalredfe.pdf.

RUSSO, Víctor Santiago. El Proyecto de Energías Renovables en Mercados Rurales (PERMER). En Petrotecnia (Ago, 2009); p 40 – 46.

SOLAR ENERGY LABORATORY, University of Wisconsin-Madison. TRNSYS 17 - Getting Started, Vol. 1. USA, 2012. Ed. Madison, Wisconsin.

SOLAR ENERGY LABORATORY, University of Wisconsin-Madison. TRNSYS 17 - Simulation Studio, Vol. 2. USA, 2012. Ed. Madison, Wisconsin.

LIBROS

Colmenar A. Instalaciones Eléctricas en Baja Tensión; Diseño, Calculo, Dirección, Seguridad y Montaje. 2da Edición, México, Editorial Mc Graw Hill.

M Narciso, Problemas Resueltos de Tecnología Eléctrica. 3ra Edición, España, Editorial Thomson Ediciones Spain, 2006.

Sanz J. Instalaciones Eléctricas, Soluciones a Problemas en Baja y Alta Tensión, 3ra Edición, España, Editorial Paraninfo, 2009.

MANUALES

Fundación de la Energía de la comunidad de Madrid, Guía básica de la Instrumentación de Medida de Instalaciones en los Edificios, 1ra Edición, España, Graficas Elisa S.A, 2011.

Fundación de la Energía de la comunidad de Madrid, Guía Básica De La Gestión De La Demanda Eléctrica, Universidad de Madrid, 2ra Edición, España, Graficas Elisa S.A, 2011.

IEEE – STD80- 2000, Estados Unidos, Protección de sistemas de tierras en subestaciones eléctricas.

REVISTAS

Unión General de Trabajadores (2005). Propuesta para el Desarrollo de Energía Solar Fotovoltaica.

Cubillo R. (2014, Julio 26). Sociedad Fotovoltaica. Revista Chilena de Ingeniera, pp A1-A5.

INFORMES

Pertzel A. (2012). Energía Solar: Una Solución Renovable. Ciudad de México.

FAO (2000). Energía Solar Fotovoltaica. Van Campen, B., FAO. Roma.

Anexos

ANEXO N°1.

- **Siglas, Abreviatura y\o Nomenclatura.**

LISTA DE NOMENCLATURAS

- Corrección de datos de radiación

R	Coeficiente de correlación entre los datos de la estación meteorológica y el piranómetro
R^2	Coeficiente de determinación entre los datos de la estación meteorológica y el piranómetro
d	Dato de la estación meteorológica
DES	Dentro de las especificaciones del mensurando
σ	Desviación estándar
Err	Diferencia entre el dato de la estación meteorológica y la media del error absoluto del Piranómetro
Dato	Valor corregido de la estación meteorológica obtenido de la ecuación empírica
K	Factor de confianza
FES	Fuera de las especificaciones del mensurando
$\bar{X}$	Media de los valores registrados por el Piranómetro
Tol	Tolerancia de la estación meteorológica

- Diseño del sistema solar fotovoltaico

Q_B	Capacidad almacenada por las baterías
Q_T	Capacidad total del sistema de acumulación
E_T	Carga total diaria
E_{ac}	Carga total diaria en AC (corriente alterna)
$I_{sc,ref}$	Corriente de corto circuito en condiciones de referencia
$I_{mp,ref}$	Corriente en el punto de máxima potencia en condiciones de referencia
I_{nev}	Corriente nominal de operación del refrigerador
E	Energía consumida
E_{bom}	Energía consumida por las bombillas

E_d	Energía diaria
E_{dc}	Energía total diaria equivalente en DC
F_{ac-dc}	Factor de inversión de AC a DC (corriente directa)
η_d	Factor de perdidas asociadas al panel solar
F_S	Factor de seguridad por pérdidas
F_P	Factor del pico de carga de la nevera
HSP	Horas de sol pico
N_D	Número de días de autonomía
NP	Número de paneles solares fotovoltaicos en paralelo
P_{nev}	Potencia de la nevera
P_{bom}	Potencia de las bombillas
P_{ref}	Potencia del módulo solar fotovoltaico
P_{reg}	Potencia del Regulador - Inversor
P_{ac}	Potencia en AC
$P_{M,nev}$	Potencia máxima del refrigerador
$P_{ac,max}$	Potencia máxima en AC
Q_{max}	Profundidad de descarga máxima
t	Tiempo
$V_{oc,ref}$	Voltaje de circuito abierto en condiciones de referencia
V_{ref}	Voltaje de referencia del panel solar
V_{nom}	Voltaje nominal del sistema solar fotovoltaico
$V_{mp,ref}$	Voltaje en el punto de máxima potencia en condiciones de referencia
V_{nev}	Voltaje nominal de operación de la nevera

- Análisis y resultados obtenidos con TRNSYS

Matriz solar fotovoltaica

θ	Ángulo de incidencia de la radiación solar
A	Área del módulo fotovoltaico

ε_g	*Bandgap* del semiconductor
U_L	Coeficiente de pérdida de calor de la matriz
μ_{isc}	Coeficiente de temperatura de la corriente de corto circuito
μ_{Voc}	Coeficiente de temperatura de la tensión de circuito abierto
k	Constante de Boltzmann
q	Constante de carga eléctrica del el electrón
$I_{sc,T}$	Corriente de corto circuito del arreglo fotovoltaico
$I_{sc,ref}$	Corriente de corto circuito en condiciones de referencia
I_L	Corriente de generación del panel
I_0	Corriente de saturación inversa del diodo
$I_{0,ref}$	Corriente de saturación inversa del diodo en condiciones de referencia
I	Corriente del módulo fotovoltaico
$I_{mp,ref}$	Corriente en el punto de máxima potencia a lo largo de la curva I-V, según las condiciones de referencia
I_{mp}	Corriente en el punto de máxima potencia de la matriz fotovoltaica
$I_{mp,80h}$	Corriente en el punto de máxima potencia de la matriz fotovoltaica, en la hora 80 de simulación
$I_{mp,84h}$	Corriente en el punto de máxima potencia de la matriz fotovoltaica, en la hora 84 de simulación
$I_{mp,T}$	Corriente en el punto máxima potencia de la matriz fotovoltaica
I_D	Corriente sobre el diodo
η_c	Eficiencia de conversión del módulo
$I_{L,ref}$	Fotocorriente del módulo en condiciones de referencia
$G_{T,beam}$	Haz de radiación incidente
β	La pendiente de la matriz fotovoltaica
N_s	Número de células individuales dentro el módulo
NP	Número de módulos en paralelo de la matriz fotovoltaica
NS	Número de paneles en serie de la matriz fotovoltaica
γ	Parámetro empírico de ajuste de la curva fotovoltaica
$P_{ref,T}$	Potencia del arreglo de paneles solares fotovoltaicos

$P_{mp,T}$	Potencia en el punto de máxima potencia de matriz fotovoltaica
$P_{A,80h}$	Potencia máxima generada de la matriz fotovoltaica, en la hora 80 de simulación
$P_{A,84h}$	Potencia máxima generada de la matriz fotovoltaica, en la hora 84 de simulación
$P_{max,80h}$	Potencia máxima teórica de la matriz fotovoltaica, en la hora 80 de simulación
$P_{max,84h}$	Potencia máxima teórica de la matriz fotovoltaica, en la hora 84 de simulación
$\tau\alpha$	Producto de transmitancia - absorptancia del módulo
$G_{T,diff}$	Radiación difusa
$G_{T,NOCT}$	Radiación incidente en condiciones NOCT
G_T	Radiación total incidente de en la matriz fotovoltaica
$G_{T,ref}$	Radiación total incidente en las condiciones de referencia
R_S	Resistencia en serie del módulo fotovoltaico
T	Temperatura absoluta
T_a	Temperatura ambiente
$T_{a,NOCT}$	Temperatura ambiente en condiciones NOCT
T_C	Temperatura del módulo
$T_{c,ref}$	Temperatura del módulo en condiciones de referencia
$T_{c,NOCT}$	Temperatura del módulo en condiciones NOCT
V_T	Tensión térmica
V_{oc}	Voltaje de circuito abierto de la matriz fotovoltaica
$V_{oc,80h}$	Voltaje de circuito abierto de la matriz fotovoltaica, en la hora 80 de simulación
$V_{oc,84h}$	Voltaje de circuito abierto de la matriz fotovoltaica, en la hora 84 de simulación
$V_{oc,ref}$	Voltaje de circuito abierto en condiciones de referencia
V	Voltaje de operación de la matriz fotovoltaica
$V_{mp,ref}$	Voltaje en el punto de máxima potencia a lo largo de la curva IV, según las condiciones de referencia
V_{mp}	Voltaje en el punto de máxima potencia de la matriz fotovoltaica

$V_{mp,80h}$	Voltaje en el punto de máxima potencia de la matriz fotovoltaica, en la hora 80 de simulación
$V_{mp,84h}$	Voltaje en el punto de máxima potencia de la matriz fotovoltaica, en la hora 84 de simulación

Banco de baterías

Q_m	Capacidad nominal de la celda
Q_T	Capacidad total del sistema de acumulación
I	Corriente en la batería
I_{max}	Corriente máxima por celda durante la carga
I_{min}	Corriente mínima por celda durante la descarga
eff_B	Eficiencia de carga de la batería
SOC	Estado de carga
Q	Estado de carga en cada instante de tiempo
F	Fracción del estado de carga
H	Fracción del estado de descarga
g_c	Mínimo valor de H en la carga de acuerdo a el voltaje, la corriente y el estado de carga
g_d	Mínimo valor de *H* en la descarga de acuerdo al voltaje, la corriente y el estado de carga
NP_B	Número de celdas conectadas en paralelo en el acumulador
NS_B	Número de celdas conectadas en serie en el acumulador
Q_c	Parámetro de la capacidad de carga
Q_d	Parámetro de la capacidad de descarga
m_d	Parámetro del tipo de celda que determina las características de corriente, voltaje y estado de carga durante la descarga
m_c	Parámetro del tipo de celda, que determina las características de corriente, voltaje y estado de carga durante la carga
r_{qd}	Resistencia interna de carga total en el ciclo de descarga
r_{qc}	Resistencia interna de carga total en el ciclo de carga
e_{qd}	Voltaje de circuito abierto en carga completa, extrapolado de la curva de *V* vs *I*, en estado de descarga

e_{qc}	Voltaje de circuito abierto en carga completa, extrapolado de la curva de *V* vs *I*, en estado de carga
C_Vc	Voltaje de corte en el ciclo de carga
D_Vc	Voltaje de corte en el ciclo de descarga
V	Voltaje de la batería
V_B	Voltaje máximo para cargar el acumulador
V_{max}	Voltaje máximo permitido en cada celda durante el modo de carga
V_n	Voltaje nominal de cada celda del acumulador

Carga eléctrica

C	Ciclos en cada fase
C_2	Ciclos en el periodo de bajo consumo en la Escuela
C_1	Ciclos en la fase de actividad escolar
E_1	Energía consumida durante el funcionamiento de la Escuela
E_2	Energía consumida en el periodo de bajo consumo de la Escuela
E_{Cn}	Energía consumida por la nevera en cada ciclo durante la fase de carga
E_n	Energía consumida por la nevera en función del de tiempo
P_D	Perfil de consumo de potencia diario
P_1	Potencia promedio en el periodo de actividad escolar
P_2	Potencia promedio en el periodo de bajo consumo en la Escuela
t_1	Tiempo de actividad escolar
t_2	Tiempo de bajo consumo en la Escuela
t_n	Tiempo de operación de cada ciclo

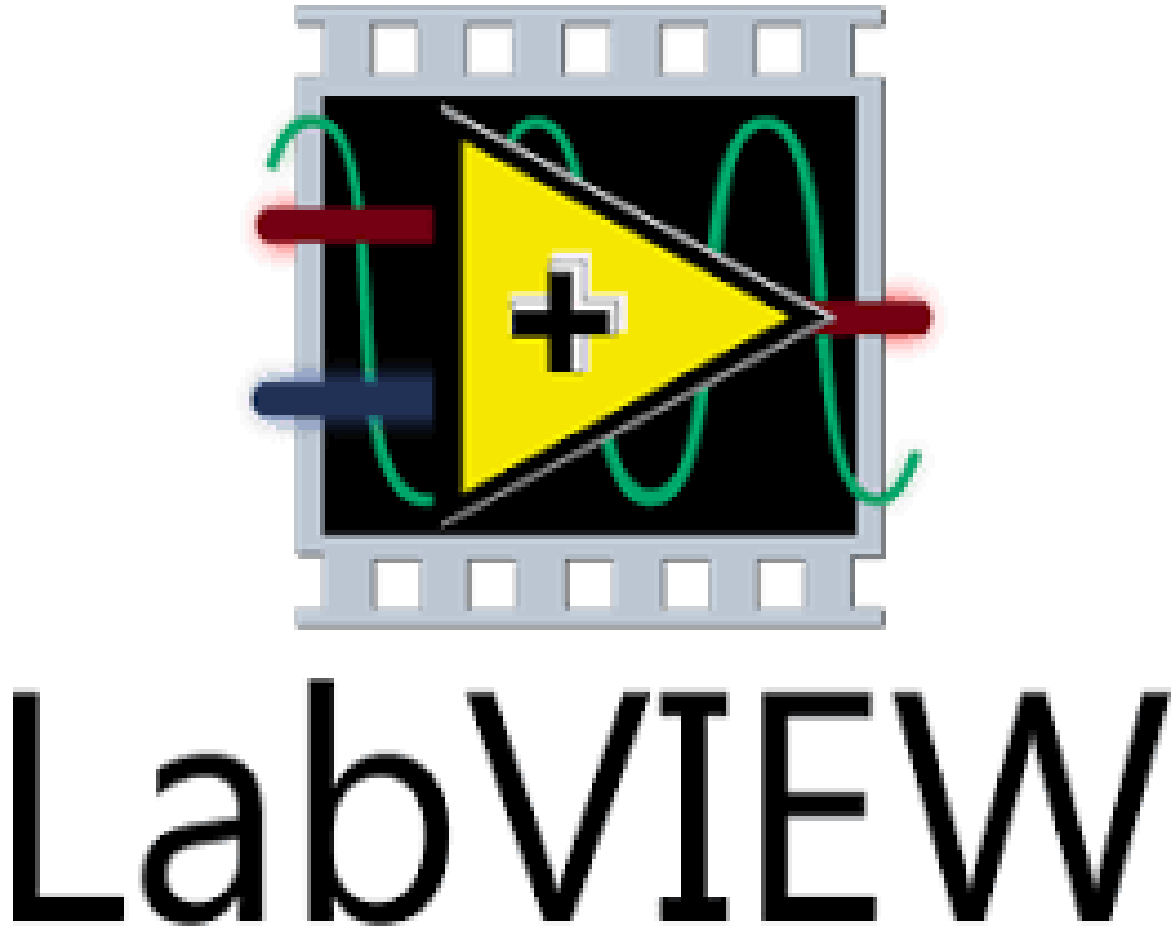
Regulador - Inversor

$P_{L,\,MAX}$	Capacidad de salida del inversor
I_A	Corriente de entrada del generador solar
I_{grid}	Corriente para la carga de la batería por parte de la red

eff_2	Eficiencia de inversión de AC – DC
eff	Eficiencia del regulador
eff_1	Eficiencia en el factor de inversión de DC – AC
F	Fracción del estado de carga
F_B	Límite de F, para que la batería pueda empezar a descargarse después de estar cargada
F_D	Límite inferior de F para la descarga de la batería
V_D	Límite inferior del voltaje de la batería durante la descarga
F_{grid}	Límite superior de F para la carga del acumulador mediante la red eléctrica
F_C	Límite superior de *F*, cuando la batería se está cargando
V_c	Límite superior de V, cuando la batería se está cargando
P_{VD}	Potencia correspondiente al límite inferior de la tensión del acumulador durante la descarga
P_{VC}	Potencia correspondiente al límite superior de tensión del acumulador durante la carga
P_I	Potencia de salida del inversor
P_A	Potencia del arreglo de paneles solares fotovoltaicos
P_D	Potencia demandada por la carga
P_B	Potencia desde o hacia la batería (+ carga, - descarga)
$P_{B,MAX}$	Potencia máxima de entrada (carga)
$P_{B,MIN}$	Potencia mínima de salida hacia la batería (descarga)
P_C	Taza de carga permitida de carga, cuando la batería está en el límite de voltaje V_c
BV	Voltaje del acumulador

ANEXO N°2.

- **LabVIEW Software**



NATIONAL INSTRUMENTS

LabVIEW

30 septiembre & 1 octubre | Feria de Madrid
ROBOTIC ENGINEERING
La feria líder en innovación industrial

Tiempo Real 21/09/2017 National Instruments

National Instruments |LabVIEW System Design Software

LabVIEW

LabVIEW, la base del enfoque basado en plataforma de NI, es su herramienta de programación visual que le permite resolver los problemas actuales más rápido y eficazmente. LabVIEW facilita la visualización, creación y codificación de sistemas de ingeniería y es incomparable para ayudar a los ingenieros a pasar sus ideas a la realidad.

Para reducir el tiempo y el coste de la prueba, vea cómo LabVIEW puede ayudarle.

Vea más: http://www.ni.com/labview/

MÁS NOTICIAS SOBRE › LabVIEW, NI,

COMPARTIR 0

OPINE SOBRE ESTA NOTICIA

Nombre * Correo electrónico *

Comentario *

* Campos obligatorios BORRAR ENVIAR

Automática e Instrumentación le anima a comentar los artículos publicados al tiempo que le solicita hacerlo con ánimo constructivo y desde el sentido común, por lo que se reserva el derecho de no publicar los comentarios que considere inapropiados, que contengan insultos y/o difamaciones.

REVISTA AUTOMÁTICA E INSTRUMENTACIÓN

NÚMERO 521 // JUNIO/JULIO 2020

Acceso gratuito a la revista

LA SOLUCIÓN COMPLETA
para el suministro
de motores, reductores,
arrancadores,
variadores de velocidad, ...

LOGISTICS & AUTOMATION
25-26
Regístrate gratis

Nuestro distribuidor
e-soft
www.er-soft.com
Anybus X-gateway
Más de 250 combinaciones de red
para Fieldbus y Ethernet industrial
Como versión esclavo/esclavo o maestro/esclavo
¡Fácil configuración, sin programación!

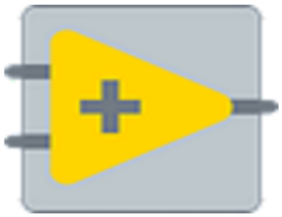
Continuous power
La solución para un sistema de alimentación fiable
Más información
PHOENIX CONTACT

EMPACK2020
2a 6 26 NOV IFEMA
REGÍSTRATE GRATIS

AUTOMÁTICA E INSTRUMENTACIÓN.com
PRODUCTIVIDAD Y EFICIENCIA DEL DISEÑO A LA PRODUCCIÓN

Esta web utiliza 'cookies' propias y de terceros para ofrecerte una mejor experiencia y servicio Más información
Aceptar

Cada Compra de LabVIEW Incluye LabVIEW 2020 y LabVIEW NXG



LabVIEW 2020

LabVIEW 2020 simplifica el diseño de sistemas distribuidos de pruebas, medidas y control, disminuyendo su tiempo para llegar al mercado. Combina LabVIEW 2020 con hardware de NI comercial, personalizable y comprobado; el cual ha sido utilizado por ingenieros por más de 30 años para desarrollar e implementar sistemas industriales y de producción a gran escala y personalizados.

Recomendamos LabVIEW 2020 para las siguientes áreas de aplicación:

- Diseñar Máquinas Inteligentes o Equipo Industrial
- Enseñar a Estudiantes de Ingeniería

LabVIEW NXG

LabVIEW NXG es la próxima generación de LabVIEW. Pruebe de forma más inteligente con LabVIEW NXG automatizando rápidamente su hardware, personalizando las pruebas según sus especificaciones y visualizando fácilmente los resultados de medidas desde cualquier lugar.

Recomendamos LabVIEW NXG para las siguientes áreas de aplicación:

- Medir sistemas físicos con sensores y actuadores
- Validar o verificar diseños electrónicos
- Desarrollar sistemas de pruebas de producción
- Diseñar comunicación inalámbrica

COMPLEMENTOS RELACIONADOS

Módulo LabVIEW FPGA

El Módulo LabVIEW FPGA le permite desarrollar VIs de FPGA en un servidor y compilar e implementar el código en hardware de E/S reconfigurable (RIO).

Módulo de Web de LabVIEW NXG

El Módulo de Web de LabVIEW NXG permite la creación de interfaces de usuario basadas en web para aplicaciones de LabVIEW y LabVIEW NXG sin la necesidad de habilidades de desarrollo web.

Módulo LabVIEW Real-Time

El Módulo LabVIEW Real-Time le permite crear y depurar aplicaciones determinísticas y confiables que se ejecutan en dispositivos de hardware embebidos y autónomos.

Módulo Vision Development

El Módulo Vision Development ofrece cientos de funciones para desarrollar e implementar aplicaciones de visión artificial.

Engineer Ambitiously.™

Soluciones

Semiconductor / Automotriz / Aeroespacial, Defensa y Gobierno / Academia e Investigación / Inalámbricos / Electrónica / Energía / Maquinaria Industrial / Equipo Pesado / Socios

Pedidos

Pedidos e Historial / Comprar con número de componente / Activar un producto / Recuperar un presupuesto / Términos y condiciones

Compañía

Dirección / Trabajo / Relación con inversores / Sala de prensa / Responsabilidad corporativa / Cadena logística / calidad / Eventos

Soporte

Descargas / Documentación de productos / Foros de discusión / Enviar solicitud de servicio / Comentarios

© 2020 NATIONAL INSTRUMENTS CORP.
TODOS LOS DERECHOS RESERVADOS.

512-683-0100

LEGAL | PRIVACIDAD

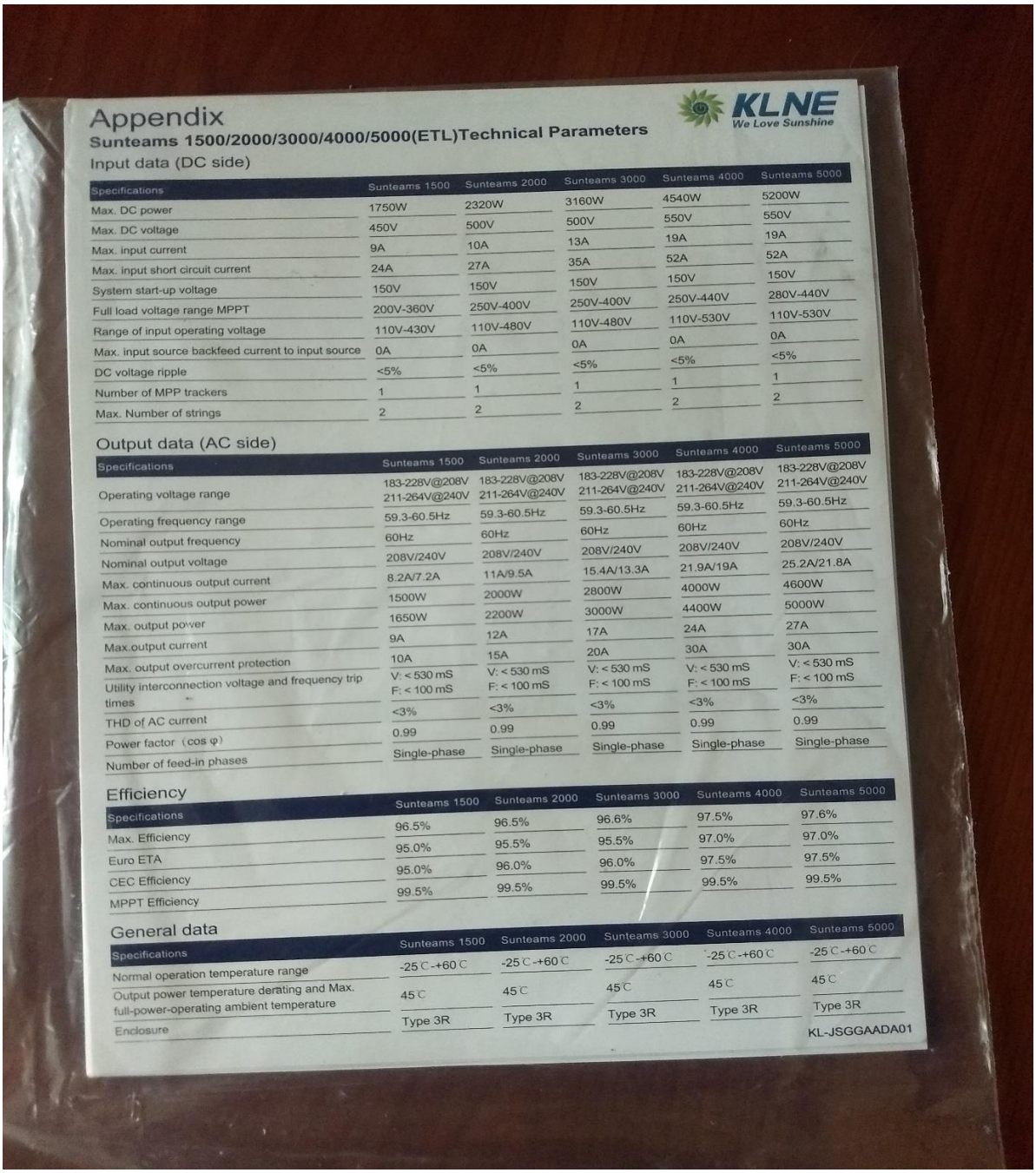
Nicaragua

Anexo N° 3.

- **Ilustraciones del Laboratorio de Energía Renovable**

3.1 Aire acondicionado VEVEWEL

3.1.1 Placa del Aire Acondicionado



Appendix

KLNE
We Love Sunshine

Sunteams 1500/2000/3000/4000/5000(ETL)Technical Parameters

Input data (DC side)

Specifications	Sunteams 1500	Sunteams 2000	Sunteams 3000	Sunteams 4000	Sunteams 5000
Max. DC power	1750W	2320W	3160W	4540W	5200W
Max. DC voltage	450V	500V	500V	550V	550V
Max. input current	9A	10A	13A	19A	19A
Max. input short circuit current	24A	27A	35A	52A	52A
System start-up voltage	150V	150V	150V	150V	150V
Full load voltage range MPPT	200V-360V	250V-400V	250V-400V	250V-440V	280V-440V
Range of input operating voltage	110V-430V	110V-480V	110V-480V	110V-530V	110V-530V
Max. input source backfeed current to input source	0A	0A	0A	0A	0A
DC voltage ripple	<5%	<5%	<5%	<5%	<5%
Number of MPP trackers	1	1	1	1	1
Max. Number of strings	2	2	2	2	2

Output data (AC side)

Specifications	Sunteams 1500	Sunteams 2000	Sunteams 3000	Sunteams 4000	Sunteams 5000
Operating voltage range	183-228V@208V 211-264V@240V	183-228V@208V 211-264V@240V	183-228V@208V 211-264V@240V	183-228V@208V 211-264V@240V	183-228V@208V 211-264V@240V
Operating frequency range	59.3-60.5Hz	59.3-60.5Hz	59.3-60.5Hz	59.3-60.5Hz	59.3-60.5Hz
Nominal output frequency	60Hz	60Hz	60Hz	60Hz	60Hz
Nominal output voltage	208V/240V	208V/240V	208V/240V	208V/240V	208V/240V
Max. continuous output current	8.2A/7.2A	11A/9.5A	15.4A/13.3A	21.9A/19A	25.2A/21.8A
Max. continuous output power	1500W	2000W	2800W	4000W	4600W
Max. output power	1650W	2200W	3000W	4400W	5000W
Max.output current	9A	12A	17A	24A	27A
Max. output overcurrent protection	10A	15A	20A	30A	30A
Utility interconnection voltage and frequency trip times	V: < 530 mS F: < 100 mS	V: < 530 mS F: < 100 mS	V: < 530 mS F: < 100 mS	V: < 530 mS F: < 100 mS	V: < 530 mS F: < 100 mS
THD of AC current	<3%	<3%	<3%	<3%	<3%
Power factor（cos φ）	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99
Number of feed-in phases	Single-phase	Single-phase	Single-phase	Single-phase	Single-phase

Efficiency

Specifications	Sunteams 1500	Sunteams 2000	Sunteams 3000	Sunteams 4000	Sunteams 5000
Max. Efficiency	96.5%	96.5%	96.6%	97.5%	97.6%
Euro ETA	95.0%	95.5%	95.5%	97.0%	97.0%
CEC Efficiency	95.0%	96.0%	96.0%	97.5%	97.5%
MPPT Efficiency	99.5%	99.5%	99.5%	99.5%	99.5%

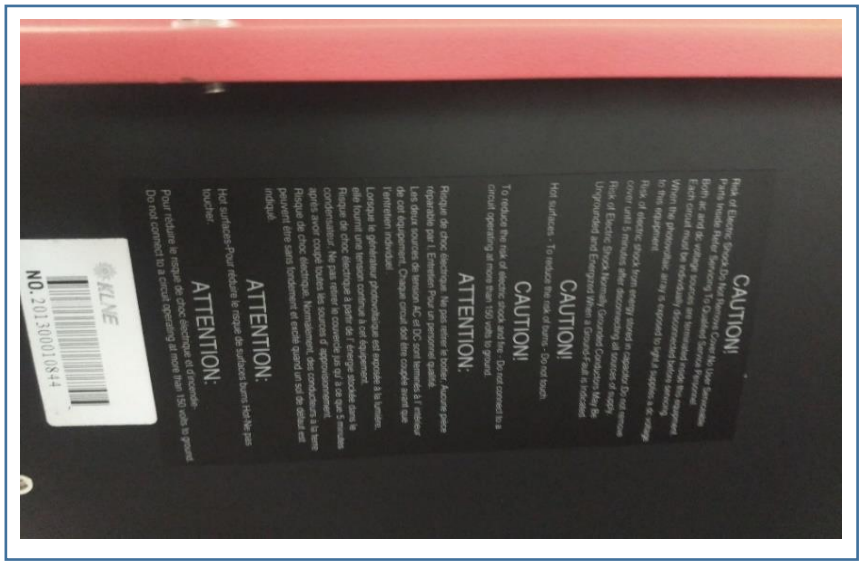
General data

Specifications	Sunteams 1500	Sunteams 2000	Sunteams 3000	Sunteams 4000	Sunteams 5000
Normal operation temperature range	-25℃-+60℃	-25℃-+60℃	-25℃-+60℃	-25℃-+60℃	-25℃-+60℃
Output power temperature derating and Max. full-power-operating ambient temperature	45℃	45℃	45℃	45℃	45℃
Enclosure	Type 3R	Type 3R	Type 3R	Type 3R	Type 3R

KL-JSGGAADA01

3.2 Manual del inversor KLNE

3. 2. 1 ilustración del inversor KLNE



3.2.2 Placa del inversor KLNE

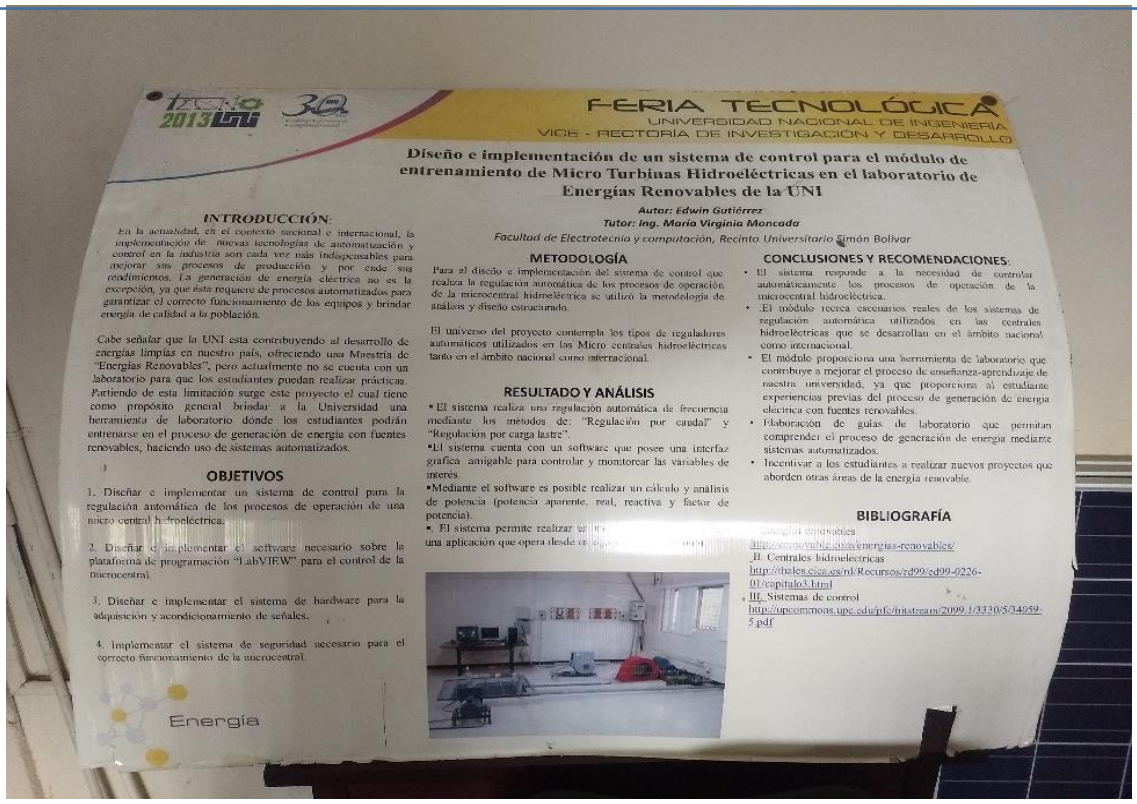
3. 3 Módulo Trisolar. Panel Solar

3.3.1 Placa del panel solar Trisolar

3.4 Panel Eléctrico del Laboratorio de Energía Renovable

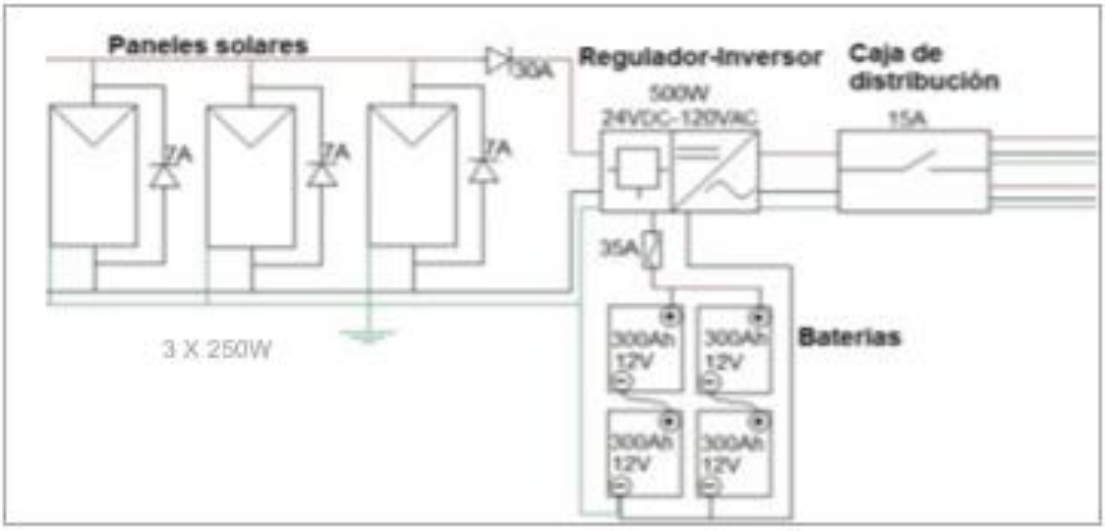
3.5 Ilustración Externa del Laboratorio de Energía Renovable

3.6 Ilustración interna del Laboratorio de Energía Renovable

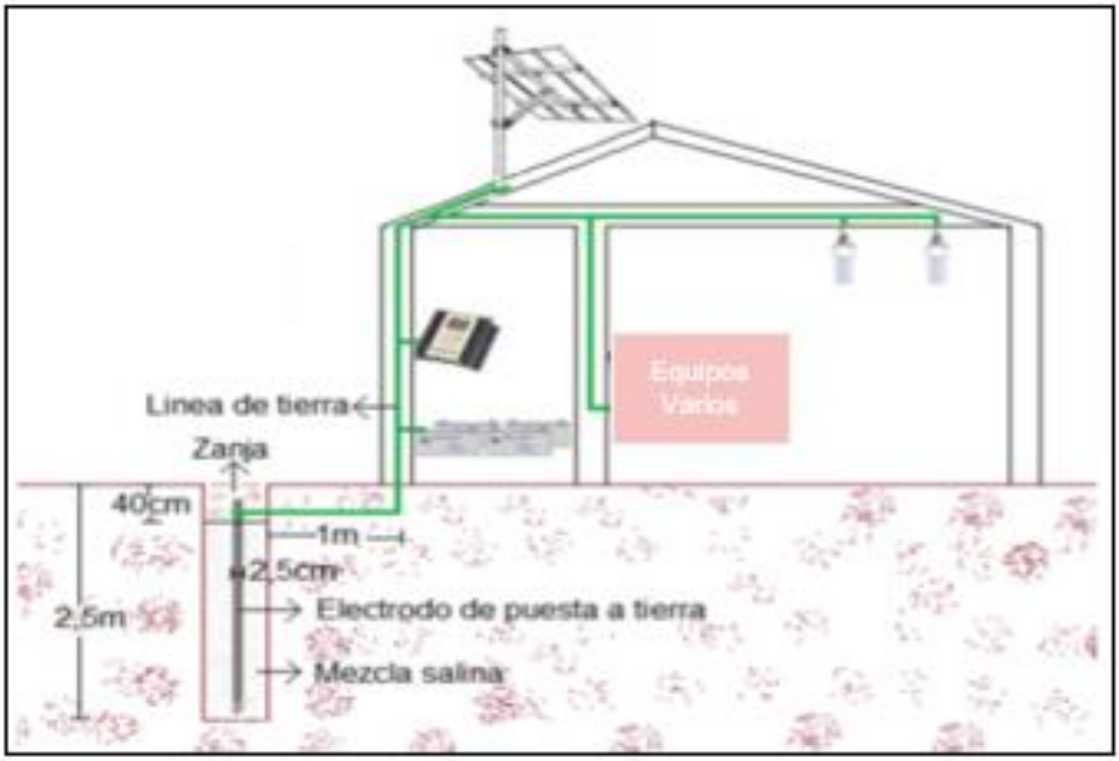


3.7 Ilustración de objetivos del Laboratorio de Energía Renovable

Anexo 4. Plano eléctrico del diseño del sistema solar propuesto y puesta a tierra



Anexo 4. Plano eléctrico del diseño propuesto
Fuente: Propia, elaborada con Publisher.



Anexo 4.1 Diseño de puesta a tierra
Fuente: Propia, elaborada con Publisher.