



CARTA DE AUTORIZACIÓN

CÓDIGO

AP-BIB-FO-06

VERSIÓN

1

VIGENCIA

2014

PÁGINA

1 de 2

Neiva,

Señores

CENTRO DE INFORMACIÓN Y DOCUMENTACIÓN

UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA

Ciudad

El (Los) suscrito(s):

Santiago Andrés Sarria González, con C.C. No. 1075286215,

_____, con C.C. No. _____,

_____, con C.C. No. _____,

_____, con C.C. No. _____,

Autor(es) de la tesis y/o trabajo de grado o _____

Titulado: **DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE ENERGÍA HÍBRIDO EMPLEANDO PANELES SOLARES Y LA RED ELÉCTRICA NACIONAL CON EL FIN DE MEJORAR LA EFICIENCIA Y DISPONIBILIDAD DE UN NODO DE COMUNICACIONES**

Presentado y aprobado en el año ____2021____ como requisito para optar al título de

____Ingeniero electrónico____;

Autorizo (amos) al CENTRO DE INFORMACIÓN Y DOCUMENTACIÓN de la Universidad Surcolombiana para que, con fines académicos, muestre al país y el exterior la producción intelectual de la Universidad Surcolombiana, a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera:

- Los usuarios puedan consultar el contenido de este trabajo de grado en los sitios web que administra la Universidad, en bases de datos, repositorio digital, catálogos y en otros sitios web, redes y sistemas de información nacionales e internacionales "open access" y en las redes de información con las cuales tenga convenio la Institución.
- Permita la consulta, la reproducción y préstamo a los usuarios interesados en el contenido de este trabajo, para todos los usos que tengan finalidad académica, ya sea en formato Cd-Rom o digital desde internet, intranet, etc., y en general para cualquier formato conocido o por conocer, dentro de los términos establecidos en la Ley 23 de 1982, Ley 44 de 1993, Decisión Andina 351 de 1993, Decreto 460 de 1995 y demás normas generales sobre la materia.
- Continúo conservando los correspondientes derechos sin modificación o restricción alguna; puesto que, de acuerdo con la legislación colombiana aplicable, el presente es un acuerdo jurídico que en ningún caso conlleva la enajenación del derecho de autor y sus conexos.

Vigilada Mineducación

La versión vigente y controlada de este documento, solo podrá ser consultada a través del sitio web Institucional www.usco.edu.co, link Sistema Gestión de Calidad. La copia o impresión diferente a la publicada, será considerada como documento no controlado y su uso indebido no es de responsabilidad de la Universidad Surcolombiana.



CARTA DE AUTORIZACIÓN

CÓDIGO

AP-BIB-FO-06

VERSIÓN

1

VIGENCIA

2014

PÁGINA

2 de 2

De conformidad con lo establecido en el artículo 30 de la Ley 23 de 1982 y el artículo 11 de la Decisión Andina 351 de 1993, "Los derechos morales sobre el trabajo son propiedad de los autores", los cuales son irrenunciables, imprescriptibles, inembargables e inalienables.

EL AUTOR/ESTUDIANTE:

Firma: SANTIAGO ANDRÉS SARRIA GONZÁLEZ

EL AUTOR/ESTUDIANTE:

Firma: _____

EL AUTOR/ESTUDIANTE:

Firma: _____

EL AUTOR/ESTUDIANTE:

Firma: _____



CÓDIGO

AP-BIB-FO-07

VERSIÓN

1

VIGENCIA

2014

PÁGINA

1 de 3

TÍTULO COMPLETO DEL TRABAJO:

AUTOR O AUTORES:

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre
SARRIA GONZÁLEZ	SANTIAGO ANDRÉS

DIRECTOR Y CODIRECTOR TESIS:

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre
QUINTERO POLANCO	JESÚS DAVID

ASESOR (ES):

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre

PARA OPTAR AL TÍTULO DE: INGENIERO ELECTRÓNICO

FACULTAD: INGENIERÍA

PROGRAMA O POSGRADO: ELECTRÓNICA

CIUDAD: NEIVA

AÑO DE PRESENTACIÓN: 2021 NÚMERO DE PÁGINAS: 58

TIPO DE ILUSTRACIONES (Marcar con una X):

Diagramas Fotografías Grabaciones en discos Ilustraciones en general Grabados
Láminas Litografías Mapas Música impresa Planos Retratos Sin ilustraciones
Tablas o Cuadros

Vigilada Mineducación

La versión vigente y controlada de este documento, solo podrá ser consultada a través del sitio web Institucional www.usco.edu.co, link Sistema Gestión de Calidad. La copia o impresión diferente a la publicada, será considerada como documento no controlado y su uso indebido no es de responsabilidad de la Universidad Surcolombiana.

SOFTWARE requerido y/o especializado para la lectura del documento: MICROSOFT OFFICE

MATERIAL ANEXO:

PREMIO O DISTINCIÓN (En caso de ser LAUREADAS o Meritoria):

PALABRAS CLAVES EN ESPAÑOL E INGLÉS:

Español

Inglés

- | | |
|-------------------------------------|---------------------|
| 1. _BATERIA__ | _BATTERY |
| 2. ENERGIA RENOVABLE__ | _RENEWABLE ENERGY |
| 3. INVERSOR HIBRIDO FUERA DE LA RED | _OFF GRID INVERTER |
| 4. __PANEL FOTOVOLTAICO | _PANEL PHOTOVOLTAIC |
| 5. __RADIACION SOLAR | _SOLAR RADIATION |

RESUMEN DEL CONTENIDO: (Máximo 250 palabras)

Se diseñó e implementó un sistema de generación de energía que brinda independencia eléctrica al nodo de telecomunicaciones Moscovia, de la empresa Mapa Ingeniería. El sistema emplea un inversor off grid con dos entradas DC (Arreglo fotovoltaico y banco de baterías), una entrada AC proveniente de la red eléctrica nacional (REN) y una salida AC para alimentar los dispositivos electrónicos del nodo. Se programó al inversor de tal manera que seleccione automáticamente la entrada más adecuada para el requerimiento de carga energética, además se podrá escoger manual o remotamente la fuente de alimentación del sistema. En la configuración se dejó el arreglo fotovoltaico como fuente principal de alimentación, el excedente de energía será utilizado para cargar el banco de baterías, en el momento que la radiación solar sea mínima o nula, las baterías pasarán a ser la fuente principal de alimentación hasta que estas lleguen a un umbral del 70% de la capacidad de almacenamiento automáticamente el inversor tomará a la red eléctrica nacional como fuente principal de alimentación. Se dejó este umbral de capacidad del banco de baterías como un sistema de respaldo adicional con duración de 5 horas en caso de fallas en la red eléctrica

Vigilada Mineducación

La versión vigente y controlada de este documento, solo podrá ser consultada a través del sitio web Institucional www.usco.edu.co, link Sistema Gestión de Calidad. La copia o impresión diferente a la publicada, será considerada como documento no controlado y su uso indebido no es de responsabilidad de la Universidad Surcolombiana.

DESCRIPCIÓN DE LA TESIS Y/O TRABAJOS DE GRADO

CÓDIGO	AP-BIB-FO-07	VERSIÓN	1	VIGENCIA	2014	PÁGINA	3 de 3
--------	--------------	---------	---	----------	------	--------	--------

nacional durante la noche. De esta manera se logró mejorar la resiliencia energética, robustez a fallas y disponibilidad del servicio en el nodo de telecomunicaciones Moscovia de la empresa Mapa ingeniería.

ABSTRACT: (Máximo 250 palabras)

A power generation system was designed and implemented that provides electrical independence to the Moscovia telecommunications node, from the company Mapa Ingeniería. The system uses an off-grid inverter with two DC inputs (photovoltaic arrangement and battery bank), an AC input from the national electricity grid and an AC output for charging the node's electronic devices. The inverter was programmed in such a way that it will automatically select the most suitable input for the energy load requirement, in addition, the system's power supply can be selected manually or remotely. In the configuration, the photovoltaic arrangement was left as the main power source, the surplus energy will be used to charge the battery bank, at the moment that the solar radiation is minimal or null, the batteries will become the main power source until these reach a threshold of 70% of the capacity, the inverter will automatically take the national electricity grid as the main power source. This voltage threshold was left in the battery bank as an additional backup system with a duration of 5 hours in case of failures in the national electricity grid overnight. In this way, it was possible to improve energy resilience, robustness to failures and service availability in the Moscovia telecommunications node of the company Mapa Ingeniería.

APROBACION DE LA TESIS

Nombre Presidente Jurado:

Firma:

Nombre Jurado: DIEGO FERNANDO SENDOYA

Firma:

Nombre Jurado: FERNAND DIAZ

Firma: Fernand Díaz Franco

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE ENERGÍA HÍBRIDO
EMPLEANDO PANELES SOLARES Y LA RED ELÉCTRICA NACIONAL CON
EL FIN DE MEJORAR LA EFICIENCIA Y DISPONIBILIDAD DE UN NODO DE
COMUNICACIONES**

SANTIAGO ANDRÉS SARRIA GONZÁLEZ

Código. 20122112755

**UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA
NEIVA, HUILA.**

2021

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE ENERGÍA HÍBRIDO
EMPLEANDO PANELES SOLARES Y LA RED ELÉCTRICA NACIONAL CON
EL FIN DE MEJORAR LA EFICIENCIA Y DISPONIBILIDAD DE UN NODO DE
COMUNICACIONES**

SANTIAGO ANDRÉS SARRIA GONZÁLEZ
Código. 20122112755

**Trabajo de grado para optar por el título de:
Ingeniero Electrónico**

Director

Ing. Electrónico Jesús David Quintero Polanco

**UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA
NEIVA, HUILA
2021**

Nota De Aceptación

Firma director del Proyecto

Firma primer Jurado

Firma segundo Jurado

Dedicatoria

A mis padres y hermano por ser excelentes personas, siempre incondicionales conmigo, que a lo largo de mi vida siempre me han apoyado y también me brindan todas las ayudas que están a su disposición para que yo cumpla mis metas y sueños.

A mis compañeros y colegas con los que compartí conocimientos en esta etapa tan importante de mi vida.

A mis profesores de escuela, bachillerato y universidad por guiarme y enseñarme todo lo necesario para ser alguien que ayude al progreso de la sociedad.

SANTIAGO ANDRES SARRIA GONZALEZ

Agradecimientos

A mis padres por darme el mejor ejemplo a seguir, ser siempre unas personas correctas y motivarme a ser mejor cada día.

Al ingeniero Yilver Polo por ser un excelente maestro de conocimiento de ingeniería electrónica, además de ser un gran ejemplo de disciplina y responsabilidad.

Al Ingeniero Jesús David por ser mi tutor en este proyecto, por guiarme y colaborar en el desarrollo de este proyecto.

TABLA DE CONTENIDO		PAG
1. INTRODUCCION		1
1.1. OBJETIVOS		2
1.1.1. OBJETIVO GENERAL		2
1.1.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS		2
2. MARCO TEORICO		4
2.1. ENERGIAS RENOVABLES		4
2.2. TECNOLOGIAS Y MERCADOS DE LA ENERGIA RENOVABLE		4
2.3. ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA		5
2.4. INSTALACIONES FOTOVOLTAICAS CONECTADAS A LA RED		5
2.5. INSTALACIONES FOTOVOLTAICAS AISLADAS DE LA RED		6
2.6. SISTEMA FOTOVOLTAICO HIBRIDO		7
3. CONSIDERACIONES		8
3.1. CONSIDERACIONES PARA EL DISEÑO FOTOVOLTAICO		8
3.2. CONSIDERACIONES PARA LA SELECCIÓN DEL INVERSOR		8
3.3. CONSIDERACIONES PARA LA IMPLEMENTACION DEL ARREGLO DE PANELES SOLARES		9
4. DESARROLLO DEL ROYECTO		11
4.1. DISEÑO		11
4.1.1. Identificar el requerimiento energético del nodo de Telecomunicaciones		11
4.1.2. Caracterización geográfica del nodo		13
4.1.3. Selección de panel solar		14

4.1.4	Simulación de la generación energética	16
4.1.5.	Inversor fotovoltaico	17
4.1.6.	Banco de baterías	19
4.1.7.	Selección de la fuente de alimentación inalámbricamente	20
4.2.	IMPLEMENTACION	21
4.2.1.	Instalación del arreglo de paneles solares	22
4.2.2.	Instalación del banco de baterías	22
4.2.3.	instalación del inversor	23
4.2.4.	Implementación del interruptor sonoff	25
4.2.5.	Protecciones del sistema	28
4.3.	CONFIGURACION DEL INVERSOR	29
4.3.1.	Funcionamiento del sistema durante el día	29
4.3.2.	Funcionamiento del sistema durante la noche	29
4.4.	VALIDACION Y VERIFICACION DEL SISTEMA	29
5.	ANALISIS DE RESULTADOS	31
5.1.	POTENCIA GENERADA EN LA SIMULACION	31
5.2.	POTENCIA REAL GENERADA POR EL ARREGLO FV	32
5.3.	ALMACENAMIENTO DE ENERGIA	34
5.4.	VALIDACION DEL SISTEMA	34
5.5.	FALLAS EN EL SERVICIO DE ELECTROHUILA	37
6.	CONCLUSIONES	38
7.	RECOMENDACIONES	39
8.	TRABAJOS FUTUROS	40
	BIBLIOGRAFIA	41

INDICE DE FIGURAS	PAG
FIGURA 1. INSTALACION FOTOVOLTAICA CONECTADA A LA RED	6
FIGURA 2. INSTALACION FOTOVOLTAICA AISLADA DE LA RED	6
FIGURA 3. INSTALACION FOTOVOLTAICA HIBRIDA	7
FIGURA 4. AZIMUT Y ANGULO DE INCLINACION DE UN PANEL SOLAR	9
FIGURA 5. METODOLOGIA EMPLEADA PARA EL DISEÑO FV	11
FIGURA 6. UBICACIÓN DEL NODO MOSCOVIA	13
FIGURA 7. PROMEDIO DE RADIACION SOLAR EN NEIVA	13
FIGURA 8. PANEL SOLAR JA SOLAR 270 WATTS	14
FIGURA 9. ARREGLO DE PANELES SOLARES	15
FIGURA 10. SIMULACION PVGIS DEL ARREGLO ORIENTADO HACIA EL OESTE	17
FIGURA 11. SIMULACION PVGIS DEL ARREGLO ORIENTADO HACIA EL ESTE	17
FIGURA 12. INVERSOR NETION 2000 WATTS	18
FIGURA 13. BATERIA MTEK DE 105 AH	20
FIGURA 14. INTERRUPTOR INTELIGENTE SONOFF	20
FIGURA 15. DIAGRAMA UNIFILIAR DE LA SOLUCION IMPLEMENTADA	21
FIGURA 16. ARREGLO DE PANELES SOLARES INSTALADOS EN EL NODO MOSCOVIA	22
FIGURA 17. BANCO DE BATERIA INSTALADO EN EL NODO MOSCOVIA	23
FIGURA 18. BORNES PARA LA CONEXIÓN DE ENTRADAS Y SALIDA DEL INVERSOR	23
FIGURA 19. APLICACIÓN EWELINK EN LA PLAY STORE	25
FIGURA 20. INTERFACE DE INICIO DE LA APLICACIÓN EWELINK	25
FIGURA 21. AÑADIR UN DISPOSITIVO NUEVO EN LA APLICACIÓN DE EWELINK	26
FIGURA 22. EMPAREJAMIENTO DEL INTERRUPTOR SONOFF A LA RED	26
FIGURA 23. AÑADIR UN DISPOSITIVO NUEVO EN LA APLICACIÓN EWELINK	27
FIGURA 24. BOTON PARA PERMITIR O CORTAR EL FLUJO ELECTRICO REMOTAMENTE AL INVERSOR	27
FIGURA 25. RESULTADO DE SIMULACION PVGIS.PRODUCCION DE ENERGIA MENSUAL DEL ARREGLO DE PANELES UBICADOS HACIA EL OESTE	31
FIGURA 26. RESULTADO DE SIMULACION PVGIS.PRODUCCION DE ENERGIA MENSUAL DEL ARREGLO DE PANELES UBICADOS HACIA EL ESTE	31

FIGURA 27. MUESTRAS DE POTENCIA GENERADA POR EL ARREGLO DE PANELES SOLARES EL 1 DE DICIEMBRE 2020	32
FIGURA 28. POTENCIA REAL GENERADA POR EL ARREGLO FV EN LOS 10 DIAS DE MEUSTREO	33
FIGURA 29. ACUMULACION DE ENERGIA GENERADA POR EL ARREGLO DE FV EN LOS 10 DIAS DE MUESTREO	33
FIGURA 30. VOLTAJE PROMEDIO DEL BANCO DE BATERIAS	34

INDICE DE TABLAS	PAG
TABLA 1. DISPOSITIVOS ELECTRONICOS EN EL NODO	11
TABLA 2. PARAMETROS DEL PANEL SOLAR JA SOLAR 270 WATTS	15
TABLA 3. PARAMETROS DE ENTRADA DEL INVERSOR	18
TABLA 4. PARAMETROS DE SALIDA DEL INVERSOR	19
TABLA 5. PARAMETROS DE CONFIGURACION DEL INVERSOR	24
TABLA 6. DATOS DE ENERGIA ACUMULADA DURANTE CADA DIA DE MUESTREO	34
TABLA 7. COMPARACION EN LA GENERACION DE ENERGIA POR LOS TRES METODOS EMPLEADOS	35
TABLA 8. MUESTRAS DE VOLTAJE Y FRECUENCIA POR EL INVERSOR	36
TABLA 9. MUESTRAS DE VOLTAJE Y FRECUENCIA POR EL INVERSOR Y EL MULTRIMETRO UNIT –T (UT203)	36
TABLA 10. ERROR EN LAS MEDICIONES DE VOLTAJE Y FRECUENCIA	37

RESUMEN

Se diseñó e implementó un sistema de generación de energía que brinda independencia eléctrica al nodo de telecomunicaciones Moscovia, de la empresa Mapa Ingeniería. El sistema emplea un inversor off grid con dos entradas DC (Arreglo fotovoltaico y banco de baterías), una entrada AC proveniente de la red eléctrica nacional (REN) y una salida AC para alimentar los dispositivos electrónicos del nodo. Se programó al inversor de tal manera que seleccione automáticamente la entrada más adecuada para el requerimiento de carga energética, además se podrá escoger manual o remotamente la fuente de alimentación del sistema. En la configuración se dejó el arreglo fotovoltaico como fuente principal de alimentación, el excedente de energía será utilizado para cargar el banco de baterías, en el momento que la radiación solar sea mínima o nula, las baterías pasarán a ser la fuente principal de alimentación hasta que estas lleguen a un umbral del 70% de la capacidad de almacenamiento automáticamente el inversor tomará a la red eléctrica nacional como fuente principal de alimentación. Se dejó este umbral de capacidad del banco de baterías como un sistema de respaldo adicional con duración de 5 horas en caso de fallas en la red eléctrica nacional durante la noche. De esta manera se logró mejorar la resiliencia energética, robustez a fallas y disponibilidad del servicio en el nodo de telecomunicaciones Moscovia de la empresa Mapa ingeniería.

Palabras claves

Batería, Energía renovable, Inversor hibrido fuera de la red, Panel fotovoltaico, Radiación solar

ABSTRACT

A power generation system was designed and implemented that provides electrical independence to the Moscovia telecommunications node, from the company Mapa Ingeniería. The system uses an off-grid inverter with two DC inputs (photovoltaic arrangement and battery bank), an AC input from the national electricity grid and an AC output for charging the node's electronic devices. The inverter was programmed in such a way that it will automatically select the most suitable input for the energy load requirement, in addition, the system's power supply can be selected manually or remotely. In the configuration, the photovoltaic arrangement was left as the main power source, the surplus energy will be used to charge the battery bank, at the moment that the solar radiation is minimal or null, the batteries will become the main power source until these reach a threshold of 70% of the capacity, the inverter will automatically take the national electricity grid as the main power source. This voltage threshold was left in the battery bank as an additional backup system with a duration of 5 hours in case of failures in the national electricity grid overnight. In this way, it was possible to improve energy resilience, robustness to failures and service availability in the Moscovia telecommunications node of the company Mapa Ingeniería.

Keywords

Battery, Hybrid inverter off grid, panel photovoltaic, solar energy

1. INTRODUCCIÓN

La creciente competitividad durante los últimos años en los diversos sectores industriales obliga a las empresas a mejorar la eficiencia y calidad de sus procesos para garantizar que sus servicios satisfagan las expectativas de sus clientes (Prats, 2005). La industria de las telecomunicaciones no es ajena a estos avances, busca brindar un servicio de tiempo continuo y de calidad por medio de infraestructura capaz de alcanzar zonas remotas y poco accesibles. Los equipos de telecomunicaciones terrestres requieren de una alimentación eléctrica continua para realizar las diversas funciones de procesamiento que requieren las señales o mensajes que circulan por toda la red de nodos que pertenecen a la empresa. De presentarse daños o sobre voltajes en la red local/nacional, los equipos se apagarían, reiniciarían o en el peor de los casos se dañarían, quedando incapaces de transmitir las señales, esto significa una pérdida del servicio por parte de los usuarios, lo que reduce la calidad del servicio (QoS) y también la calidad en la experiencia del usuario (QoE) con la empresa.

Las empresas de telecomunicaciones en Colombia, están implementando diferentes sistemas de respaldo energético (Back Up) según las condiciones requeridas por las diferentes estaciones repetidoras. El departamento del Huila, cuenta con varias empresas enfocadas en el área de las telecomunicaciones, entre ellas MAPA Ingeniería S.A.S, que cuenta con varios nodos en todos los municipios del departamento. Algunos nodos poseen una ubicación geográfica con difícil acceso, por lo que es necesario garantizar una comunicación permanente, con el fin de identificar y poder actuar rápido en caso de tener fallas en los sistemas de radio telecomunicaciones.

Para garantizar una comunicación permanente es indispensable que todos los nodos posean un sistema de alimentación que sea robusto a fallas eléctricas, y de esta manera conservar un elevado QoS y QoE, para que la empresa no presente pérdidas económicas por los ANS (Contrato de Acuerdo de Nivel de Servicio). En el nodo Moscovia de la empresa MAPA Ingeniería ubicado en el corregimiento del Caguán se cuenta con una planta eléctrica a base de gasolina como respaldo energético (Back up) la cual se utiliza para las fallas de la red eléctrica local/nacional, sin embargo esta alternativa presenta varias desventajas como son ruido, emisiones de gases de efecto invernadero y elevados costos de operación y mantenimiento

Para mejorar la confiabilidad y eficiencia del servicio que presta la empresa, se propone implementar un sistema de energía híbrido entre la red eléctrica local/nacional y una fuente de energía renovable (Montañez D., 2016). Se escogió la energía solar fotovoltaica por la elevada radiación solar que hay en el sitio, el largo tiempo de vida útil de los paneles (Azizi et al, 2018) y también por los recursos económicos disponibles en el nodo. A este sistema híbrido se le integrará un inversor Off Grid que permitirá la conmutación entre la energía solar y la red eléctrica nacional, de esta manera se espera generar un ahorro económico en el servicio de energía que mensualmente se paga a la empresa eléctrica del Huila “ElectroHuila”, también brindará independencia energética en caso de fallas en la red eléctrica local/nacional, sin producir ruido, contaminación y sin altos costos de mantenimiento/operación.

1.1. OBJETIVOS

1.1.1. OBJETIVO GENERAL

Diseñar e implementar un sistema de generación de energía eléctrica que funcione con energía solar y la red eléctrica nacional para el nodo de telecomunicaciones de la empresa MAPA Ingeniería ubicado en Moscovia, municipio de Neiva.

1.1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Seleccionar y diseñar el sistema de generación de energía eléctrica fotovoltaica en función a la disponibilidad de recursos y requerimientos del nodo de telecomunicaciones.
- Implementar el sistema de generación de energía fotovoltaica, el arreglo de baterías, y realizar la conexión de la carga eléctrica del nodo de telecomunicaciones al inversor off grid.

- Permitir al operario de MAPA ingeniería seleccionar manual y remotamente entre la red principal (sistema solar fotovoltaico) y la red de respaldo (red pública) para suministrar energía a la carga.
- Garantizar el ahorro en el consumo de la tarifa de energía eléctrica, disminución en los costos de mantenimiento y operación por fallas eléctricas que se presenten en el nodo.
- Realizar pruebas y mediciones del correcto funcionamiento del sistema instalado en el nodo Moscovia de la empresa MAPA Ingeniería.

2. MARCO TEÓRICO

La automatización de los nodos de telecomunicaciones se ve reflejada en una mejora significativa en la calidad de experiencia y de servicio por parte de los usuarios, lo que permite obtener mayor eficiencia en el servicio prestado por la empresa. La alimentación energética de estos nodos es indispensable para el correcto funcionamiento de toda la red, desarrollos mostrados en los apartados anteriores mostraron como la automatización de la maquinaria y el desarrollo de diferentes dispositivos, permiten mejorar la operación de los nodos de telecomunicaciones.

2.1. ENERGÍAS RENOVABLES

Son aquellas que se producen de forma continua y son inagotables a escala de consumo humano. El sol es la fuente más importante de energía renovable y sin él no existirían muchas de las otras formas de energía renovable que conocemos. El sol equilibra el ciclo del agua que es utilizada para generación hidroeléctrica, además es el causante de las diferencias de presión de la atmósfera que da lugar a los vientos que mueven los generadores eólicos, así mismo las plantas que son usadas como biomasa se sirven del sol para realizar la fotosíntesis, vivir y crecer; y por último del sol se aprovechan directamente en las energías solares, tanto para la térmica como la fotovoltaica. (Barbosa, 2017).

2.2. TECNOLOGÍAS Y MERCADOS DE LA ENERGÍA RENOVABLE

Algunos tipos de tecnologías de energía renovable permiten suministrar electricidad, energía térmica y/o mecánica, y son capaces de cubrir las múltiples necesidades de los servicios energéticos. Algunas tecnologías de la energía renovable pueden ser adoptadas en el lugar de consumo, tanto en medios rurales como urbanos, mientras que otras son implantadas principalmente en redes de suministro de gran tamaño. Aunque es cada vez mayor el número de tecnologías de la energía renovable técnicamente avanzadas que han sido adoptadas en mediana y gran escala, otras se encuentran en una fase menos evolucionada y su presencia comercial es más incipiente, o bien abastecen nichos del mercado especializados. Las energías renovables brindan múltiples beneficios además de proveer energía, por ejemplo su aplicación masiva representa fuentes de empleo a lo largo de todo el ciclo de productos y utilización; propician un ambiente más limpio y seguro. La mayoría de los países de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE), así como naciones en desarrollo, han propuesto metas para dichas fuentes de energía entre sus planes energéticos (S Hoyos, 2017).

Muchos países además han fomentado el desarrollo de industrias locales enfocadas en energías renovables, entrando en un nuevo mercado de tecnología energética.

2.3. ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA

La energía solar Fotovoltaica (FV) funciona bajo el principio físico del efecto fotoeléctrico el cual, al hacer incidir luz visible en un material semiconductor, se genera una absorción de fotones y desplazamiento de electrones en dicho material. Esto da lugar a la generación de un potencial eléctrico en los extremos de dicho material directamente proporcional al área de captación y a la irradiación incidente. Generalmente cada panel solar está construido a partir de pequeñas celdas, hechas de materiales semiconductores como el silicio, el grafeno, el galio, la perovskita y arseniuro de galio (GaAs), los cuales poseen características de buena conductividad lo que redundará en buena eficiencia. Que generan un potencial eléctrico individual, al colocar las celdas solares en arreglos de serie y paralelo, se pueden obtener mayores voltajes y corrientes.

De esta manera se obtiene una corriente continua, que puede ser utilizada directamente, almacenarse en sistemas de baterías o transformarse en corriente alterna por medio de inversores de corriente (Meza, 2016). Un esquema básico de una instalación fotovoltaica consta de: paneles o módulos fotovoltaicos, regulador de carga, acumulador eléctrico o baterías, inversor de carga, entre otros complementos. Estas instalaciones fotovoltaicas pueden instalarse de manera aislada a la red eléctrica convencional (Off-grid) como también conectadas con la red (On-grid).

2.4. INSTALACIONES FOTOVOLTAICAS CONECTADAS A LA RED

Son sistemas fotovoltaicos que utilizan la energía del arreglo de paneles solares durante el día y la conexión de la red eléctrica nacional en la noche para realizar bien su función generadora de electricidad, estos sistemas no almacenan energía lo que provoca que los costos sean menores por qué no utilizan baterías. Una instalación fotovoltaica conectada a la red eléctrica convencional (**FIGURA 1**), está constituida por un conjunto de módulos fotovoltaicos y un inversor que convierte la corriente continua en corriente alterna para inyectarla en la misma frecuencia y tensión en la red eléctrica. Este tipo de instalaciones requieren de un mantenimiento mínimo, que consiste básicamente en la limpieza periódica de los módulos solares, y en el control de las conexiones eléctricas y del inversor. (Beltrán, 2014)

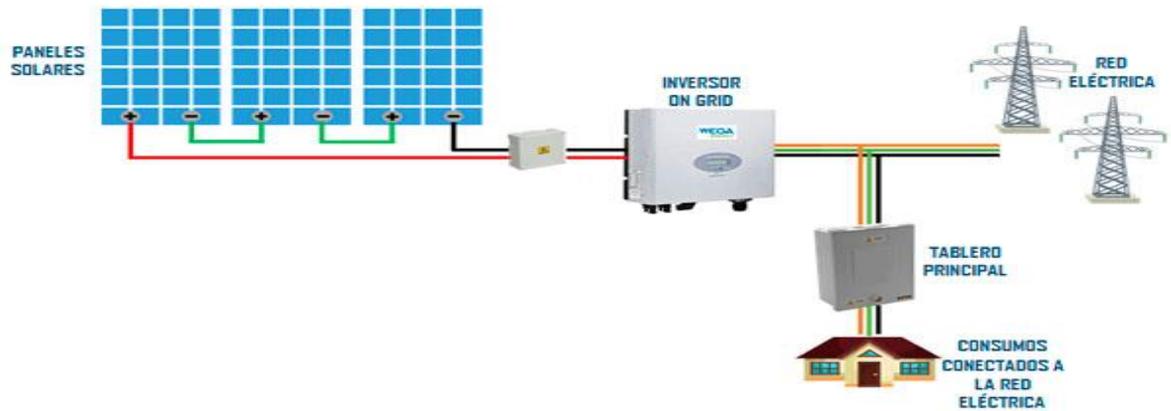


FIGURA 1. Instalación fotovoltaica conectada a la red eléctrica de servicio público. Fuente: (Wega-lighting, 2017)

2.5. INSTALACIONES FOTOVOLTAICAS AISLADAS DE LA RED.

Este sistema se instala normalmente en lugares donde no llega la red eléctrica o en lugares que el conectarse a la red de distribución eléctrica no es viable ya sea técnica o económicamente. Por lo general sus aplicaciones son dentro del sector doméstico, en instalaciones agrícolas o ganaderas, entre otras. Para el diseño de este tipo de instalaciones se requiere conocer el consumo de energía o que es lo mismo la carga que se desea suministrar (perfil de potencia), además es importante determinar el rendimiento energético de la instalación, calcular el generador mínimo capaz de suministrar la energía suficiente, la capacidad de almacenamiento en función al tiempo de autonomía del sistema. (Beltrán, 2014) **(FIGURA 2)**

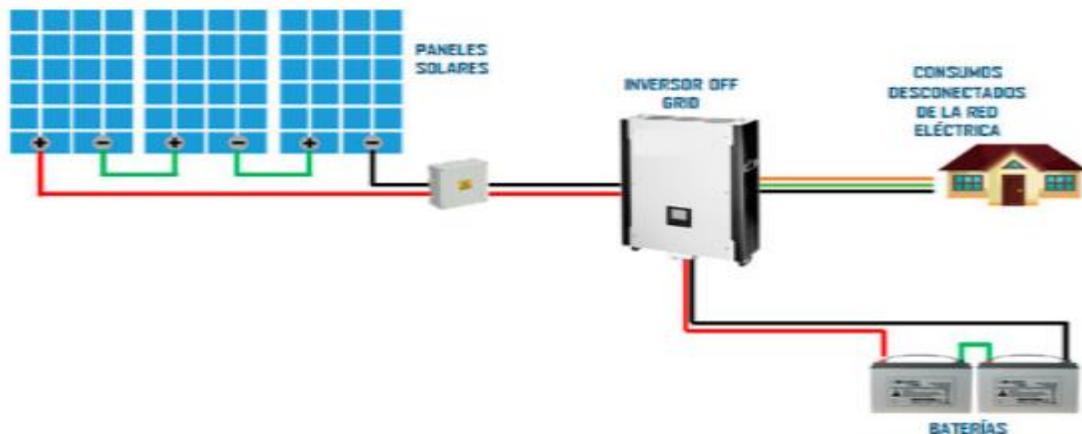


FIGURA 2. Instalación fotovoltaica aislada de la red eléctrica. Fuente: (Wega-lighting, 2017)

2.6. SISTEMA FOTOVOLTAICO HÍBRIDO

Estos sistemas se denominan “híbridos” porque pueden generar energía eléctrica a partir de dos o más fuentes de energía simultáneamente, aumentan más confiabilidad al proyecto que se ejecute ya que se complementa el trabajo de una manera eficaz si se realiza de manera correcta; por ejemplo, fotovoltaica – red eléctrica nacional, fotovoltaica-eólica, entre otras. Los sistemas híbridos se componen de varias partes fundamentales como son:

Al menos 2 tipos distintos de fuentes de energía, Fase de control de carga, Banco de baterías, Inversor Corriente Directa-Corriente Alterna (**FIGURA 3**).

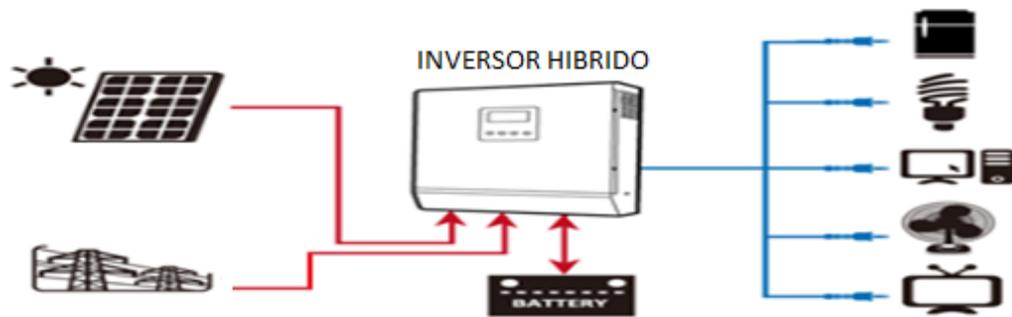


FIGURA 3. Instalación fotovoltaica híbrida.
Fuente: (Exin, 2018)

3. CONSIDERACIONES:

3.1. CONSIDERACIONES PARA EL DISEÑO DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO

Para cumplir con los objetivos propuestos es necesario analizar detenidamente las necesidades del nodo de telecomunicaciones Moscovia de la empresa MAPA ingeniería:

- **Consumo energético total del nodo por día:** Se debe investigar el consumo de todos los dispositivos electrónicos en el nodo para diseñar un sistema que supla el consumo total durante el día, y que al llegar la noche el banco de baterías esté totalmente cargado.
- **Tiempo de respaldo en caso de fallas:** Se necesita que el banco de baterías brinde un respaldo energético con un tiempo suficiente para accionar un plan de emergencias en caso de ausencia o fallas en las fuentes de generación de energía eléctrica. Se va a diseñar e implementar un respaldo energético de 5 horas, debido a que un banco de baterías grande (más tiempo de respaldo) significará un mayor costo económico, ya que la vida útil de las baterías es limitada y al cabo de un periodo de tiempo corto deben ser reemplazadas.

3.2. CONSIDERACIONES EN LA SELECCIÓN DEL INVERSOR PARA EL REQUERIMIENTO DEL NODO DE TELECOMUNICACIONES

Para seleccionar adecuadamente el inversor se debe tener en cuenta varios factores:

- **Electrodomésticos en el nodo:** Cuando se encienden electrodomésticos que tienen un motor o compresor generalmente requieren 3 veces la corriente nominal debido a la ruptura de la inercia. Si estos picos de corriente superan el umbral de potencia pueden bloquear al inversor.
- **Requerimiento energético a futuro:** Con el tiempo se espera un aumento del número de clientes, por lo tanto, se aumentará el gasto energético debido al aumento de dispositivos electrónicos en el nodo.

3.3. CONSIDERACIONES PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL ARREGLO DE PANELES SOLARES

Para la instalación de los paneles solares es indispensable conocer acerca de la geometría solar, los efectos que producen el azimut y la inclinación de los paneles con respecto al sol (**FIGURA 4**), para así conseguir la mejor eficiencia económica, espacial y de rendimiento a lo largo del año.

- **Geometría solar:** Para tener la mejor eficiencia en producción de energía se debe conocer acerca de los recorridos aparentes del sol, para predecir su interacción con volúmenes y planos en el espacio.

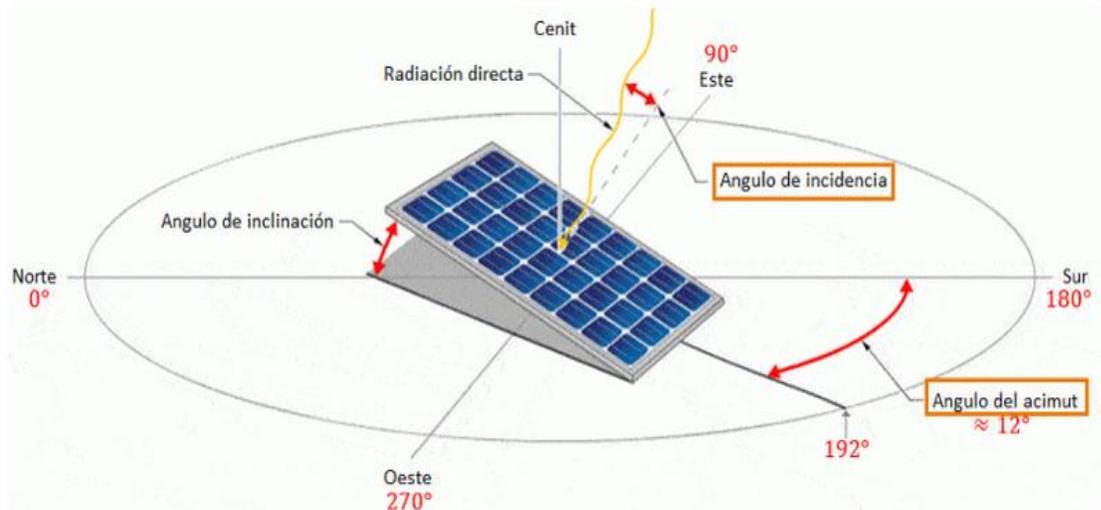


FIGURA 4. Azimut y ángulo de inclinación en un panel solar respecto al sol
Fuente: Alonzo Lorenzo J.A., (2019).

- **Azimut:** Es la orientación de las placas solares con respecto al sur; normalmente cuando se colocan paneles fijos en el hemisferio norte se ubican mirando hacia el sur perfecto, ósea un ángulo de azimut de 0°; cuando se colocan en el hemisferio sur se ubican mirando hacia el norte. También se debe tener en cuenta que al orientar los paneles mirando hacia el oeste se conseguirá una mayor eficiencia en horas de la tarde y sí se orientan hacia el este se conseguirá mayor eficiencia en horas de la mañana, por lo tanto el ángulo de azimut puede variar dependiendo de varios factores: la ubicación del sitio, la radiación solar del lugar y la superficies donde se vayan a ubicar los paneles.
- **Ángulo de inclinación:** Es el nombre que se le da al ángulo óptimo para que una celda solar esté perpendicular a la propagación de la radiación solar.

Para que el ángulo de inclinación sea óptimo se deben tener en cuenta unos factores importantes:

- **La sombra que generan los paneles con respecto al sol:** Para evitar pérdidas en el rendimiento del arreglo fotovoltaico se deben separar los paneles a una distancia tal que la sombra que se genera de un panel no afecte a los otros paneles.
- **La superficie donde se van a ubicar los paneles solares:** Muchas veces hay que adaptarse al entorno y eso conlleva buscar la ubicación más efectiva para maximizar la producción de energía en los paneles solares.
- **Latitud del lugar donde se van a ubicar los paneles solares:** con sitios ubicados cerca al Ecuador se utiliza un ángulo de inclinación de 5° a 10° , sin embargo se recomienda aumentar a 15° o 20° el ángulo de inclinación para que la lluvia limpie el polvo y los residuos sólidos en los paneles. Cuando el sitio está ubicado en latitudes mayores a 30° hacia el norte o el sur se deben colocar con un ángulo de inclinación igual a la latitud para maximizar el rendimiento por las fluctuaciones que generan las estaciones en la producción solar.

4. DESARROLLO DEL PROYECTO

4.1. DISEÑO

En la (FIGURA 5) se plasma la metodología que se empleó para diseñar el arreglo de paneles solares que suministrarán la energía eléctrica al sistema FV, posteriormente se explicara con detalle cada uno de los pasos empleados:



FIGURA 5. Metodología empleada para el diseño del arreglo FV.

4.1.1. Identificar el requerimiento energético del nodo de telecomunicaciones

A continuación, en la **Tabla 1** se discrimina todos los dispositivos electrónicos para conocer el consumo total de energía en el nodo de telecomunicaciones Moscovia de la empresa Mapa ingeniería.

Tabla 1. Dispositivos electrónicos en el nodo

Nombre de dispositivo	Dispositivo	Marca(modelo)	Voltaje	Potencia	Tiempo (Horas)
St Moscovia – Cerro Neiva	Radio	Ubiquiti(Powerbeam M5)	110 Vac	10 W	24
Router Moscovia	Router	Microtik(RB 1100 AHx2)	110-240 Vac	25 W	24

Switch	Switch	Tp - link (sg1016d)	110 Vac	15 W	24
Ap Moscovia	Radio	Ubiquiti (Rocket M5)	110 Vac	12 W	24
Soporte	Computador	Compaq (All in one CQ1)	100 - 240 V	90 W	24
Servidor	Computador	Dell (DCNE1F)	110 Vac	130 W	24
Impresora	Impresora	Hewlett packard (CP 1025)	110 - 127 Vac	40 W	2
Refrigerador	Refrigerador	LG (GM – T401QC)	115 Vac	230 W	24
Licuada	Licuada	Osterizer (Oster clásica)	115 Vac	600 W	0.5
Iluminación	Bombillos	Sylvania (E27)	115 Vac	170 W	4

El nodo consume una potencia máxima de 1322 watts, una potencia promedio de 522 watts en el día y 722 watts en la noche.

El consumo total de energía por día del nodo Moscovia.

Consumo diario total de energía del nodo Moscovia = 10588 Wh/día

El consumo mensual total de energía del nodo Moscovia

Consumo mensual total de energía del nodo Moscovia = 317.6 KWh

4.1.2 Caracterización geográfica del nodo (Método de horas pico de sol)

Para el diseño del arreglo de paneles solares se debe tener en cuenta el promedio de insolación del sitio donde se va a instalar los paneles, en este caso es el nodo Moscovia de la empresa MAPA ingeniería el cual se encuentra a 5 kilómetros de la ciudad de Neiva – Huila (**FIGURA 6**).



FIGURA 6. Ubicación del nodo Moscovia
Fuente: (Google maps)

Para saber la cantidad de radiación solar que incide diariamente en el nodo Moscovia, se buscó en la base de datos del IDEAM (Instituto de hidrología, meteorología y estudios ambientales) el promedio de radiación solar al día para cada uno de los meses del año en el municipio de Neiva, Huila (**FIGURA 7**).

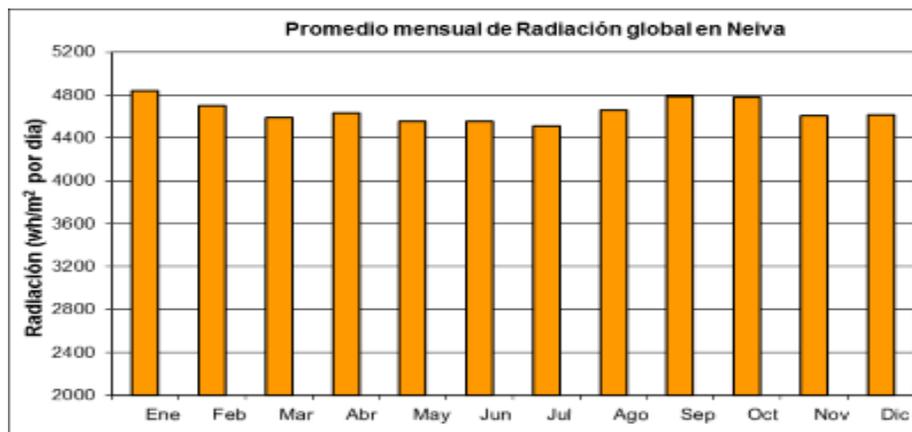


FIGURA 7. Promedio mensual de radiación solar en Neiva
Fuente: (IDEAM, 2020)

El diseño se debe realizar en base al mes con el menor promedio de radiación solar, en este caso práctico es el mes de Julio con alrededor de 4500 Watts/m² por día. Por lo tanto se procede a dimensionar el arreglo con el dato más desfavorable.

Para tener un aproximado de horas sol en las que el sistema va a generar energía fotovoltaica se debe tener en cuenta las siguientes condiciones de trabajo aceptadas internacionalmente, que definen irradiancia solar de 1000 Watts/m², con una distribución espectral AM 1.5G y 25° C.

$$Phs = \text{Promedio de horas sol en Neiva: } \frac{4500 \text{ watts/m}^2}{1000 \text{ watts/m}^2} = 4.5 \text{ horas/día}$$

4.1.3. Selección del panel solar

Ya tenemos identificado el consumo diario de la carga del nodo, también las horas sol promedio al día se procede a seleccionar la potencia de los paneles que se utilizarán en el arreglo fotovoltaico. En este caso se utilizarán paneles de 270 W, lo siguiente es calcular el número de celdas necesarias para suplir energéticamente al nodo Moscovia. Teniendo en cuenta que el nodo es híbrido, se reducirá un 30% el consumo total, que será el que suministrará la red eléctrica cuando no haya generación de energía.

$$n^{\circ} \text{ paneles} = \frac{\text{Consumo diario}}{\text{Potencia del panel} * Phs} = \frac{10600W}{270W * 4,5 * 1,3} = 6,72$$

El número de paneles necesarios para suplir el consumo diario es 6.72, este resultado se debe aproximar a un número entero, si se seleccionan 7 paneles el sistema fotovoltaico estará en desequilibrio debido a que una serie de paneles tendría un mayor voltaje que la otra y el paralelo entre ellas funcionaria mal, por lo tanto en esta caso la aproximación se debe hacer a 6 o 8 paneles. Por motivos económicos se emplearán en este arreglo 6 paneles solares policristalinos de 270 W. (JA SOLAR) (**FIGURA 8**) con su respectiva ficha técnica expuestos en la **Tabla 2**.

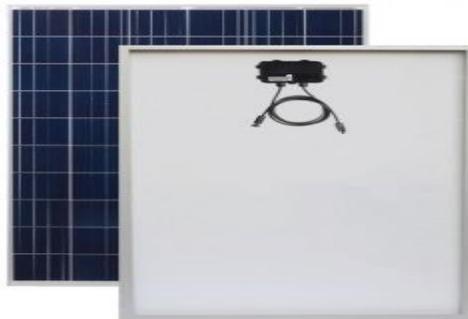


FIGURA 8. Panel solar JA SOLAR - (JAP60S01-270/SC)
Fuente: Autor

Tabla 2. Parámetros del panel solar JA SOLAR - (JAP60S01-270/SC)

Potencia pico	270 Watts
Voltaje en circuito abierto(Voc)	38.17 V
Corriente en corto circuito(Ioc)	9.18 A
Voltaje de potencia máxima(Vmp)	33.37 V
Corriente de potencia máxima(Imp)	8 A

Para realizar el diseño del arreglo fotovoltaico se tiene en cuenta el voltaje y corriente de corto circuito, debido a que son los valores máximos que presenta el panel como generador para escoger correctamente el cableado y protecciones.

Para suplir el requerimiento energético del nodo se implementó un paralelo entre dos series de tres paneles (**FIGURA 9**).

$$\begin{aligned} \text{Voltaje total del arreglo de paneles : } Voc * \text{ Paneles en serie} &= 38.17 V \times 3 \\ &= 114.51 V \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Corriente total del arreglo de paneles : } Ioc * \text{ Paneles en paralelo} &= 9.18 A \times 2 \\ &= 18.36 A \end{aligned}$$

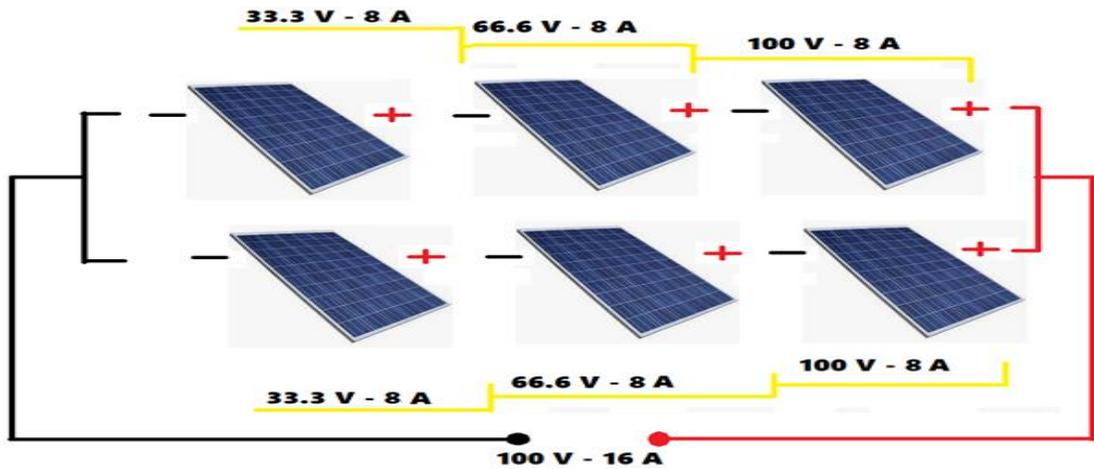


FIGURA 9. Arreglo de paneles -solares (JAP60S01-270/SC)
Fuente: Autor

$$\text{Voltaje total del arreglo de paneles : } V_{pm} * N = 33.37 \text{ V} \times 3 = 100.11 \text{ V}$$

$$\text{Corriente total del arreglo de paneles : } I_{pm} * M = 8 \text{ A} \times 2 = 16 \text{ A}$$

Este arreglo da una potencia máxima aproximada de:

$$\text{Potencia máxima : } \text{voltaje total} * \text{Corriente total} = 100.11 \text{ V} \times 16 \text{ A} = 1601.76 \text{ Watts}$$

La geografía donde se ubica el nodo tiene incluye un factor importante de temperatura en la generación de energía del arreglo fotovoltaico, debido a que los paneles solares pierden eficiencia cuando son sometidos a una temperatura diferente a 25° C. Se tendrá en cuenta también una pérdida del 20% de eficiencia al estar ubicados en un ambiente árido y caliente. Además, las bajas precipitaciones permiten que la suciedad y residuos sólidos reposen sobre los paneles y generen pérdidas en el arreglo fotovoltaico, por lo que también se deberá ejecutar un plan de mantenimiento cada 3-6 meses, que consistirá en limpiar los paneles con agua y trapos limpios.

$$\text{Potencia máxima real} = 80\% \text{ eficiencia} * 1601.76 \text{ Watts} = 1280 \text{ Watts}$$

Así, la energía diaria que se va a conseguir será:

$$\text{Energía diaria generada} = P_{hs} * \text{Potencia máxima real}$$

$$\text{Energía diaria generada} = 4.5 \frac{h}{\text{Dia}} * 1280 \text{ Watts} = 5.78 \text{ KWh} / \text{Dia}$$

Con esta energía se suplirá más del 55 % del requerimiento energético total que requiere el nodo diariamente. Además, la energía generada mensualmente y que se descontará del recibo de electricidad sería en teoría de:

$$\text{Energía generada mensualmente} = 5.78 \frac{\text{KWh}}{\text{Dia}} * 30 \text{ dias} = 173.44 \text{ KWh}$$

4.1.4. Simulación de la generación energética

Para realizar esta prueba nos ayudamos del software especializado **PVGIS** debido a que es un simulador online abierto al público, es muy confiable por las excelentes bases de datos que utiliza. Fue creado por la EUROPEAN COMMISSION para determinar el potencial solar en casi cualquier parte del mundo.

Como se va a instalar un paralelo de dos series de 3 paneles cada una y, cada serie de paneles se ubicarán con un ángulo de azimut distinto debido a que el techo del nodo es de dos aguas, por lo tanto se realizarán dos simulaciones (**FIGURA 10**) y (**FIGURA 11**) cada una corresponderá con el respectivo ángulo de azimut en el techo, finalmente se sumarán y el promedio de las dos simulaciones determinará la producción de energía diaria en el mes de Diciembre del 2020.

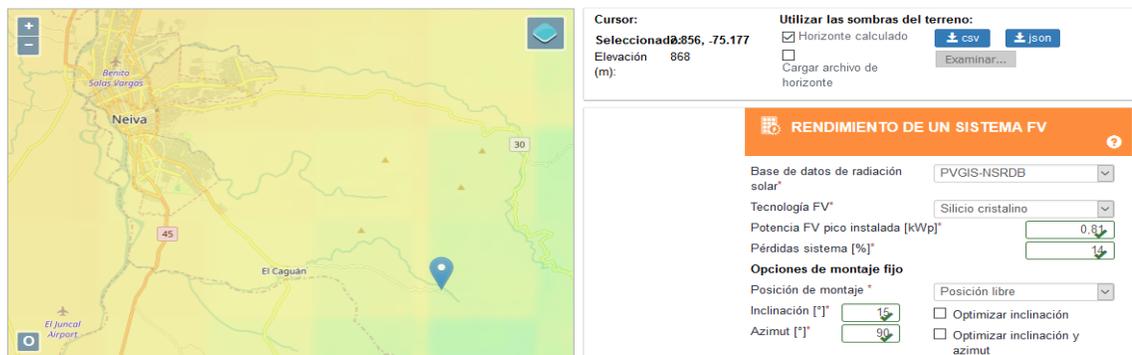


FIGURA 10. Simulación PVGIS del arreglo de paneles ubicados hacia el oeste



FIGURA 11. Simulación PVGIS del arreglo de paneles ubicados hacia el este.

4.1.5. Inversor Fotovoltaico

Se escogió el inversor Netion off grid (**FIGURA 12**) con capacidad de carga de 2000 watts, en la **Tabla 3** se muestra los parámetros de entrada y en la **Tabla 4** los parámetros de salida del inversor.

Este inversor cumple con el requerimiento de potencia sin problemas, además en un futuro la empresa piensa agregar más dispositivos electrónicos al nodo, por lo tanto, este inversor cumplirá satisfactoriamente con su trabajo.

Según el fabricante el rango de operación óptimo para la entrada de paneles solares está entre 65-120 VDC y la corriente máxima 50 A. El arreglo de paneles solares tiene los siguientes valores teóricos 114.51 V de voltaje en corto circuito y 18.36 A de corriente de corto circuito, verificando así que el inversor estará trabajando dentro del rango de funcionamiento óptimo.



FIGURA 12. Inversor off grid Netion 2000 W-

Tabla 3. Parámetros de entrada del inversor

Voltaje nominal de batería	48 Vdc
Tipo de batería	AGM (Absorb glass material) - Plomo y ácido
Voltaje máximo en circuito abierto de PV	150 Vdc
Voltaje de operación óptimo en PV	65 - 120 Vdc
Corriente de carga máxima de PV	50 A
Rango de voltaje AC	(100/110/115/120 -- 200/220/230/240) Vac \pm 25%
Rango de frecuencia de entrada	50/60 Hz \pm 10%
Máxima corriente de carga AC	50 A

Tabla 4. Parámetros de salida del inversor

Potencia nominal	2000 Watts
Factor de potencia	1
Tiempo de conversión DC a AC	Tipico: 4 ms Máximo: 10 ms
Voltaje de salida del inversor	(100/110/115/120 - 200/220/230/240) Vac \pm 2%

4.1.6. Banco de baterías

Para el diseño del banco de baterías se tuvo primero en cuenta el voltaje de entrada DC del inversor para la conexión de las baterías, este funciona correctamente con un valor de 48 V entonces será necesario colocar 4 baterías de 12V en serie para que al sumarse sus voltajes se obtengan los 48V requeridos por el inversor.

En la noche se consumen 722 W promedio, y se desea tener por lo menos 5 horas de respaldo en caso de fallas de la red eléctrica nacional, esto con el fin de tener tiempo para accionar un plan de emergencia, debido a que resulta muy costoso comprar un banco de baterías para tener un respaldo por toda la noche, además estas baterías no tienen una larga vida útil aunque se les dé un buen uso, ya que al pasar el tiempo van perdiendo retención en la capacidad por los procesos electroquímicos que se realizan dentro de ellas.

*Capacidad de la batería = (potencia requerida por la noche*horas de respaldo) / (Voltaje batería cargada * porcentaje de profundidad de descarga de la batería)*

$$\text{Capacidad de batería} = \frac{(722 \text{ W} * 5 \text{ horas})}{(56 \text{ V} * 70 \%) \text{ V}}$$

$$\text{Capacidad de batería} = \frac{3610 \text{ Wh}}{51 \text{ V}} = 70.78 \text{ Ah}$$

Se seleccionó 4 baterías MTEK de 105 Ah (**FIGURA 13**) selladas libres de mantenimiento, para tener el respaldo en caso de que ocurra una falla en la red eléctrica nacional.



FIGURA 13. Batería METK de 105 Ah

4.1.7. Selección de fuente de alimentación manual e inalámbricamente:

-Manual:

Para la selección manual se empleó un interruptor SIEMENS de 32 Amperios para la corriente directa del arreglo de paneles y un interruptor termomagnético LUMINEX de 20 amperios para corriente alterna, de esta manera se pueden controlar manualmente las dos fuentes de alimentación al inversor.

-Inalámbrica:

Para la seleccionar de manera inalámbrica la fuente de alimentación del inversor se utilizará un SWITCH SONOFF (**FIGURA 14**)



FIGURA 14. Interruptor inteligente Sonoff

Este dispositivo electrónico permitirá seleccionar remotamente la entrada de alimentación del inversor desde cualquier lugar en donde exista conexión a internet. El fabricante informa que el interruptor sonoff soporta una corriente máxima de 10 A, sin embargo, la corriente nominal de entrada y salida del sistema es de 20 amperios, por lo tanto, es necesario utilizar un contactor electromagnético entre el inversor y la red eléctrica nacional.

El interruptor SONOFF se encargará de controlar entonces al contactor electromagnético STECK S-K1 de 32 Amperios para permitir o cortar el flujo de corriente de la red eléctrica nacional hacia el inversor, de esta manera se podrá realizar una conmutación remota de esta entrada del inversor.

4.2. IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA

Para realizar la implementación del sistema se realizó el siguiente diagrama unifilar (**FIGURA 15**) y se tuvo en cuenta todas las protecciones y parámetros de instalación de todos los elementos del sistema:

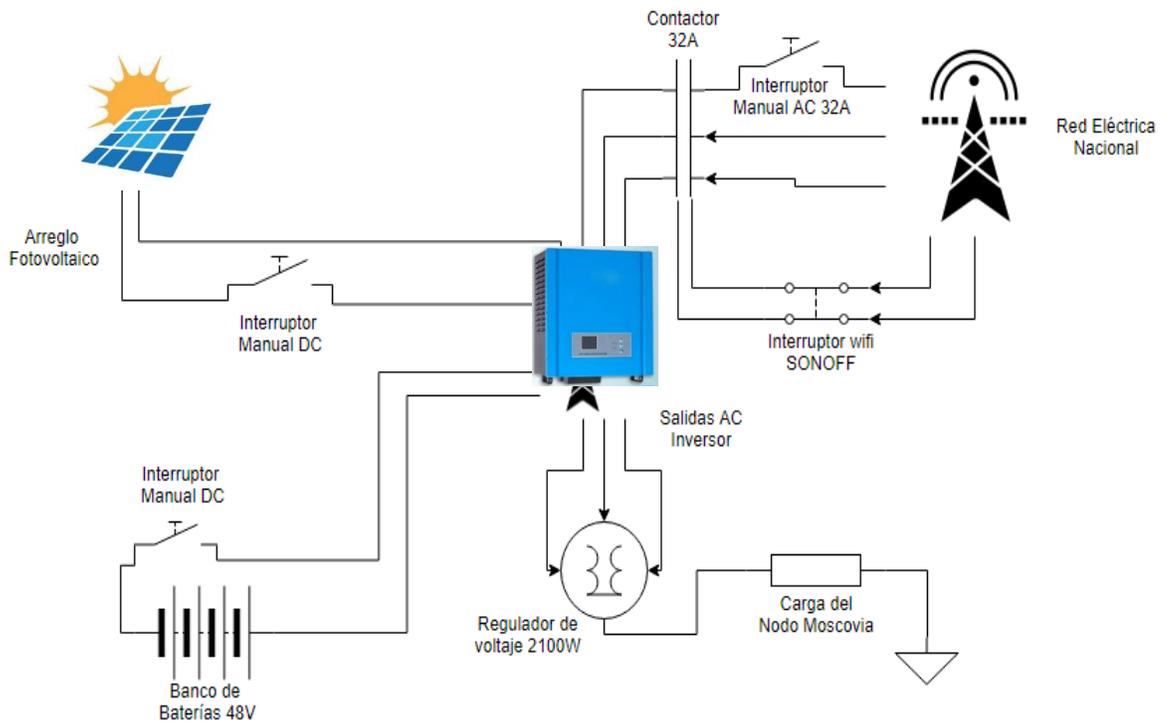


FIGURA 15. Diagrama unifilar de la solución implementada

4.2.1 Instalación del arreglo de paneles solares

Según las definiciones de azimut y ángulo de inclinación, lo primero va a ser identificar la latitud y longitud del nodo Moscovia:

La ubicación del nodo es latitud: 2.903053 y longitud: -75.2251132

Para brindar seguridad al arreglo de paneles se ubicaran en el tejado del nodo para que no sean visibles a los transeúntes de la zona, de esta manera estarán más seguros de los daños y robos.

El tejado de la casa es de dos aguas, una mirando hacia el este y la otra al oeste.

Se ubican tres paneles mirando hacia el este y los otros tres mirando al oeste para obtener una mayor eficiencia en la generación de energía tanto por las horas de la mañana como de la tarde (**FIGURA 16**).

Para conectar el arreglo de paneles se empleó cable calibre 8 AWG encauchetado de dos hilos, además de un interruptor para corriente directa SIEMENS de 32 Amperios en el cable positivo de los paneles, este interruptor será el encargado de permitir o cortar el flujo de energía manualmente de los paneles al inversor.



FIGURA 16. Paneles solares JA SOLAR 270 Watts instalados en el nodo Moscovia

4.2.2 Instalación del banco de baterías

Para el banco de baterías se usaron 4 baterías MTEK AGM (Absorbent Glass Material) selladas libre de mantenimiento de 12 voltios conectadas en serie con un cable calibre 6 AWG que es el que recomienda el fabricante, con tornillos de bronce y borneras tipo ojal que soportan 70 Amperios. **(FIGURA 17)**

Es importante utilizar un calibre de cable que soporte altas corrientes para evitar las altas temperaturas entre las baterías; también ubicarlas en un lugar seco y aisladas del suelo para evitar sulfataciones, así se aumentará la vida útil de las baterías.

Para conectar el banco de baterías al inversor se utiliza otro interruptor de corriente directa SCHNEIDER de 120 Amperios y un cable siliconado de calibre 6 AWG como lo recomienda el fabricante debido a las elevadas corrientes que se manejan, el interruptor permitirá abrir o cerrar el flujo de energía en caso de mantenimiento o fallas.



FIGURA 17. Banco de batería instalado en el nodo Moscovia

4.2.3 Instalación del inversor

Para la instalación del inversor NETION OFF GRID 2000 Watts se tiene en cuenta los siguientes esquemas de conexiones que brinda el fabricante (**FIGURA 18**)

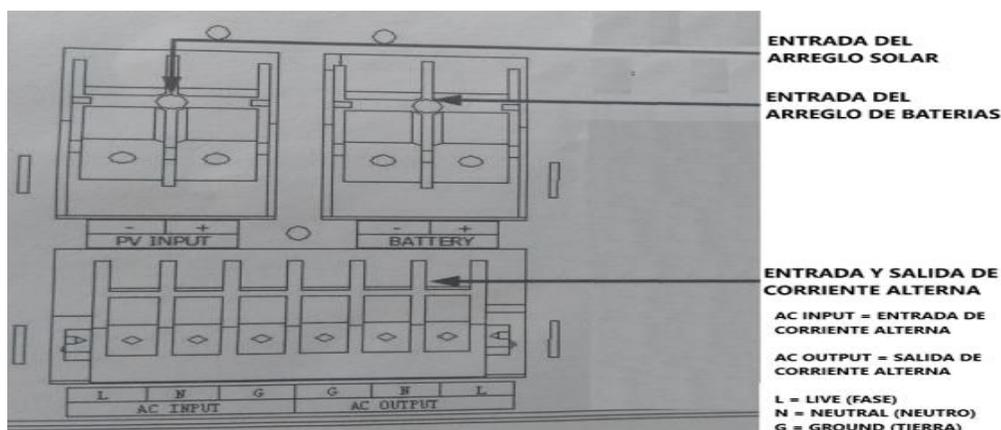


FIGURA 18. Bornes para la conexión de entradas y salida del inversor Netion off grid 2000 Watts

En el diagrama se observa que tiene dos entradas de corriente directa, una para el arreglo de paneles solares y la otra para el banco de baterías, también cuenta con una entrada de corriente alterna para conectar la red eléctrica nacional. Y solo una salida de corriente alterna para conectar la carga energética del nodo.

Para conectar el inversor a la red eléctrica nacional se seleccionó un cable calibre 10 AWG y un interruptor termomagnético para corriente alterna LUMINEX de 20 A en la entrada de (Fase–Live), para permitir o cortar el flujo manualmente de la corriente de la red eléctrica nacional, este interruptor termomagnético también protege el inversor y el cableado en caso de sobrecarga y cortocircuitos.

Ahora que el inversor está conectado a las fuentes de alimentación, se configura según los parámetros de operación expuestos en la **Tabla 5**.

Tabla 5. Parámetros de configuración del inversor Netion off grid 2000 Watts

PARÁMETROS DE OPERACIÓN		
PARÁMETRO	DESCRIPCIÓN	AJUSTE SELECCIONADO
OUT (Voltaje de salida)	Voltaje para alimentar la carga que se conecta al inversor	110 V
FREQ (Frecuencia de salida)	Frecuencia con la que el voltaje será invertido	60 Hz
BAT TP (Tipo de batería)	Tipo de batería que se conecta al inversor	AGM (absorbent glass mat material)
CYCLE (Voltaje de carga)	Voltaje con el que se van a cargar el banco de baterías	56 V
FLOAT (Voltaje de carga flotante)	Voltaje que se inyectara al banco de baterías cuando este cargadas totalmente	54 V
DOD (Voltaje de ajuste de profundidad de descarga)	Voltaje del banco de baterías para realizar un cambio entre los generadores	51 V
EOD (Voltaje de descarga final)	Voltaje de descarga profunda	42 V
MODE (Modo de operación)	Selecciona la entrada prioritaria del inversor,	SAVPRI (Prioridad en el sistema de almacenamiento de energía)

4.2.4 Implementación del interruptor SONOFF

Para la implementación del interruptor SONOFF se comenzó energizando el interruptor sonoff, el cual tiene a la entrada y a la salida una bornera con dos pines

que indican en donde debe conectarse la fase y el neutro, el calibre del cable es 14 AWG ideal para manejar bajas corrientes, es importante tener en cuenta el código de colores de Colombia para instalaciones eléctricas de corriente alterna, el Neutro siempre va a ser el cable de color blanco, Tierra es de color verde y la fase con un color distinto a los ya mencionados.

Para emplear el dispositivo SONOFF es necesario descargar e instalar la aplicación eWeLink – Home Smart, en la tienda de aplicaciones dependiendo del sistema operativo; en este caso la buscamos en la Play store (**FIGURA 19**) para instalarla en un dispositivo Android.

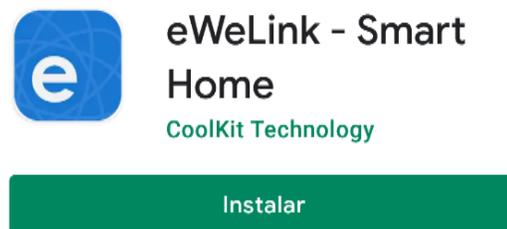


FIGURA 19. Aplicación eWeLink en la Play store

Después de tener la aplicación instalada, el siguiente paso es ejecutarla y la primera interfaz de usuario será la (**FIGURA 20**), se debe crear una cuenta para acceder a la aplicación.



FIGURA 20. Interfaz de inicio de la aplicación eWeLink

La interfaz de usuario automáticamente muestra que no se tiene ningún dispositivo emparejado, se oprime el botón “Agregar un dispositivo” (**FIGURA 21, a**), aparecerán varias opciones para agregar el dispositivo nuevo, se selecciona la opción de emparejamiento rápido. Se abrirá una pestaña donde se debe ingresar el nombre de la red y la contraseña de la red wifi a la cual se va a conectar el interruptor sonoff (**FIGURA 21, b**), además es importante tener el dispositivo en el que se está usando la aplicación eWelink previamente conectado a esa red wifi, para que el enlace sea más rápido.

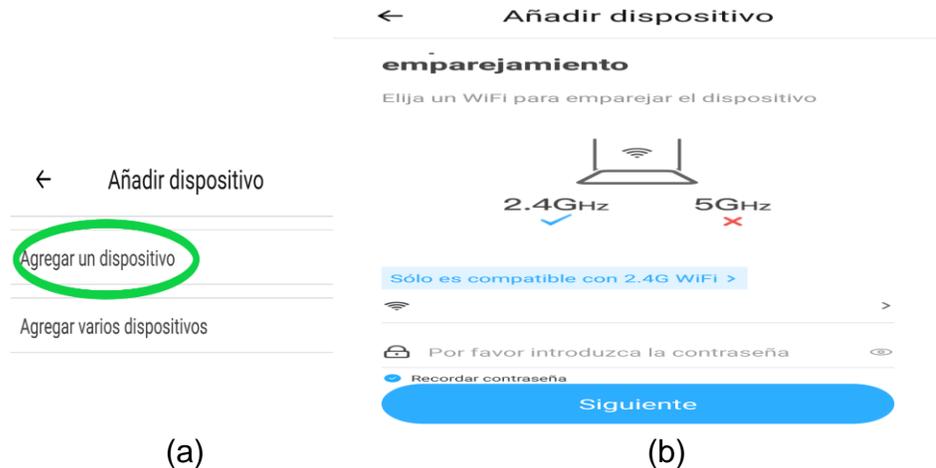


FIGURA 21. Añadir un dispositivo nuevo en la aplicación eWelink

Cuando se oprime el botón “Siguiendo”, se comenzará a buscar al interruptor sonoff, para que el interruptor sonoff sea encontrado es necesario ponerlo en modo de emparejamiento, hay que oprimir el botón encerrado en el círculo verde (**FIGURA 22**) alrededor de 5 segundos, posterior a esto el botón empezará a parpadear 3 veces seguidas, luego se apagará 2 segundos y repetirá este ciclo, indicando así que ya se encuentra en modo de emparejamiento.



FIGURA 22. Emparejamiento del interruptor Sonoff a la red.

Se debe esperar que el interruptor sonoff sea encontrado, cuando se empareje con el router wifi nos indicará que ya se ha añadido el dispositivo correctamente, se le debe colocar un “Nombre” para ser utilizado (**FIGURA 23**)



FIGURA 23. Añadir un dispositivo nuevo en la aplicación eWelink

Por último, en la interfaz de usuario en el celular aparece el dispositivo recientemente agregado (**FIGURA 24**), con un botón que permite activar o cortar el flujo de energía de la red eléctrica nacional hacia el inversor de manera remota.

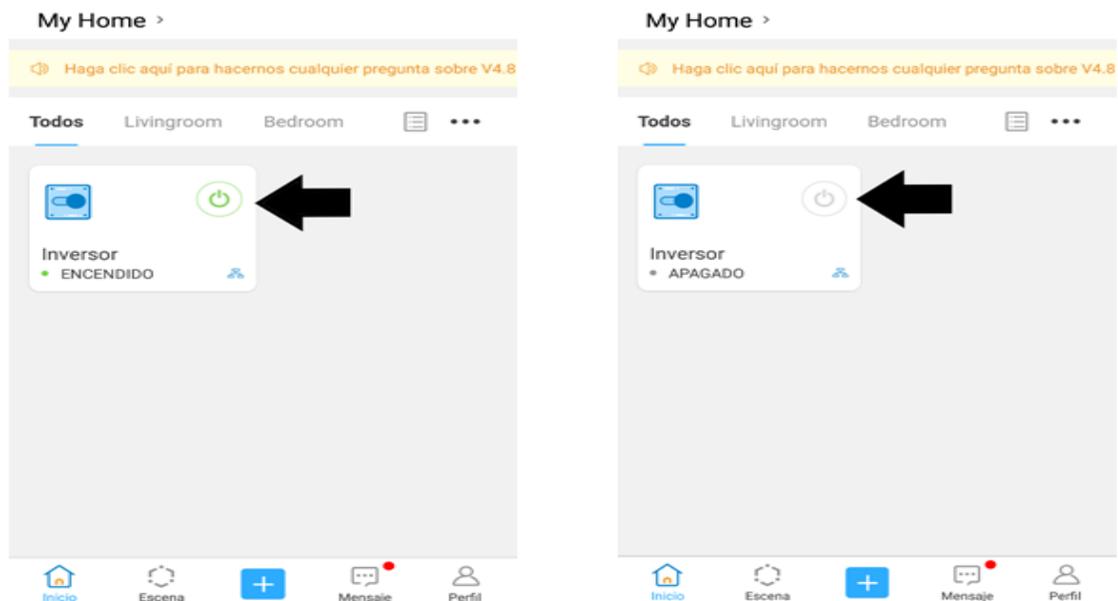


FIGURA 24. Botón para permitir o cortar el flujo eléctrico remotamente al inversor

4.2.5 Protecciones del sistema

Temperatura

La temperatura de operación del inversor está entre 0° y 40° C, con una temperatura mayor a 50° C se activará una alarma que sonará una vez por segundo y se encenderá el led rojo indicador de falla, además se muestra en la pantalla LCD las siglas MOS T.

Sobrecarga en la entrada

Para la protección del cableado y del inversor se utilizó un interruptor termomagnético de 20 amperios debido a que la corriente de carga seleccionada es de 20 amperios, en caso de que la corriente de carga sea mayor a ese valor generará calor en el interruptor y este se saltará para proteger el cableado y el inversor.

Corto circuito en la salida

Cuando se presente un corto circuito en la salida del inversor se activará una alarma que sonará una vez por segundo y se encenderá el led rojo indicador de falla, además se muestra en la pantalla LCD las siglas SHORT.

Sobrecarga en la salida

Para proteger el inversor se conectó a la salida un regulador de voltaje electrónico NEWLINE 3000VA, debido a que este regulador tiene un factor de potencia de 0.7, la potencia activa será de 2100 Watts, este regulador funciona con un voltaje de 99 – 135 Vac y una corriente de entrada máxima de 20 amperios, entrega a la salida un voltaje regulado de 115 Vac y una corriente de salida máxima de 18 amperios.

Sobre descarga de la batería

Cuando el voltaje de la batería sea igual a EOD (battery end of discharge point) se activará el led rojo indicador de falla, se mostrará en la pantalla LCD las siglas EOD y adicionalmente comenzará a sonar una alarma cada dos segundos.

Sobrecarga de la batería

En caso de que el banco de baterías alcance un voltaje igual a $1.1 * \text{Voltaje de carga}$ (61.6 V para este caso), se activará el led rojo indicador de falla, se mostrará en la pantalla LCD las siglas BAT H y adicionalmente comenzará a sonar una alarma cada dos segundos.

4.3. CONFIGURACIÓN DEL INVERSOR

El funcionamiento del inversor del sistema FV implementado se configuró en base a 2 condiciones principales, que sea de día y la otra es que sea de noche.

4.3.1 Funcionamiento del sistema durante el día

Con irradiación de 4.5kWh/m²: La potencia generada por el arreglo de paneles solares es ajustada por el MPPT (Seguidor del punto de máxima potencia) del inversor y con su salida AC se encargará de alimentar la carga eléctrica del nodo de comunicaciones. Adicional a esto, la energía restante es almacenada en el banco de baterías, inyectándole el voltaje de carga seleccionado (48V) hasta que esté completamente cargado, en ese momento se inyecta un voltaje de carga flotante para proteger el banco de baterías de sobrecargas de voltaje. La entrada AC estará apagada en el sistema hasta que el voltaje del banco de baterías sea menor al voltaje de ajuste de profundidad de descarga (DOD).

Con insuficiente radiación solar: Cuando el voltaje del banco de baterías sea menor al voltaje de ajuste de profundidad de descarga (DOD), la entrada de corriente alterna se activará automáticamente para alimentar la carga eléctrica del nodo, mientras tanto la entrada de los paneles solares seguirá activa y se usará para cargar el banco de baterías, cuando las baterías estén totalmente cargadas y se les comience a inyectar el voltaje de carga flotante la entrada de corriente alterna será desconectada hasta que el voltaje de las baterías vuelva a caer por debajo del voltaje de ajuste de profundidad de descarga (DOD).

4.3.2 Funcionamiento del sistema durante la noche

La energía que se almacena en el banco de baterías es utilizada para alimentar la carga hasta llegar al voltaje de descarga final (EOD). Cuando el banco de baterías llega al voltaje de descarga final (EOD), la entrada de corriente alterna se encargará de alimentar la carga y cargar las baterías hasta que lleguen al voltaje de ajuste de profundidad de descarga (DOD), cuando llega a ese voltaje se le comenzará a inyectar un voltaje de carga flotante para que se mantenga en ese voltaje las baterías y tengan un respaldo de energía en caso de que ocurra alguna falla en la red eléctrica nacional.

4.4. VALIDACION Y VERIFICACION DEL SISTEMA

Se realizaron 30 mediciones diarias de voltaje, corriente y potencia con un rango de 30 minutos entre cada una, se inició a las 5:00 horas y se terminó a las 19:00 horas;

en los siguientes elementos del sistema FV: Arreglo FV, Baterías, Salida del Inversor; todas las mediciones se realizaron con el multímetro UT203+ (Uni-Trend, China), durante 10 días del mes de diciembre del 2020 con el fin de validar el correcto funcionamiento del sistema FV.

Los datos obtenidos se almacenaron en una matriz de Excel, y se procesaron con el mismo software para calcular el error experimental (error absoluto y error relativo). Así se buscó verificar que la producción del arreglo FV implementado en el nodo correspondiera con los valores obtenidos en el diseño teórico y en la simulación del arreglo FV.

5. ANALISIS DE RESULTADOS

5.1. POTENCIA GENERADA EN LA SIMULACION:

La producción de energía mensual del mes de Diciembre en la serie de paneles ubicados hacia el Oeste es 87.9 KWh (**FIGURA 25**) y la producción de los paneles ubicados hacia el Este es de 84.19 KWh (**FIGURA 26**).

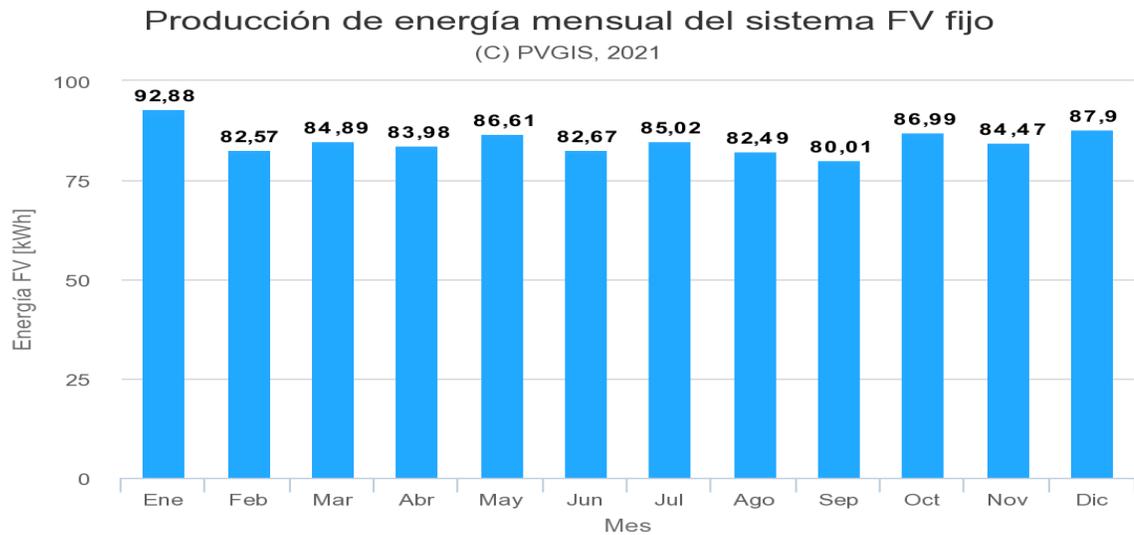


FIGURA 25. Resultado de la simulación de PVGIS Producción de energía mensual del arreglo de paneles ubicados hacia el Oeste

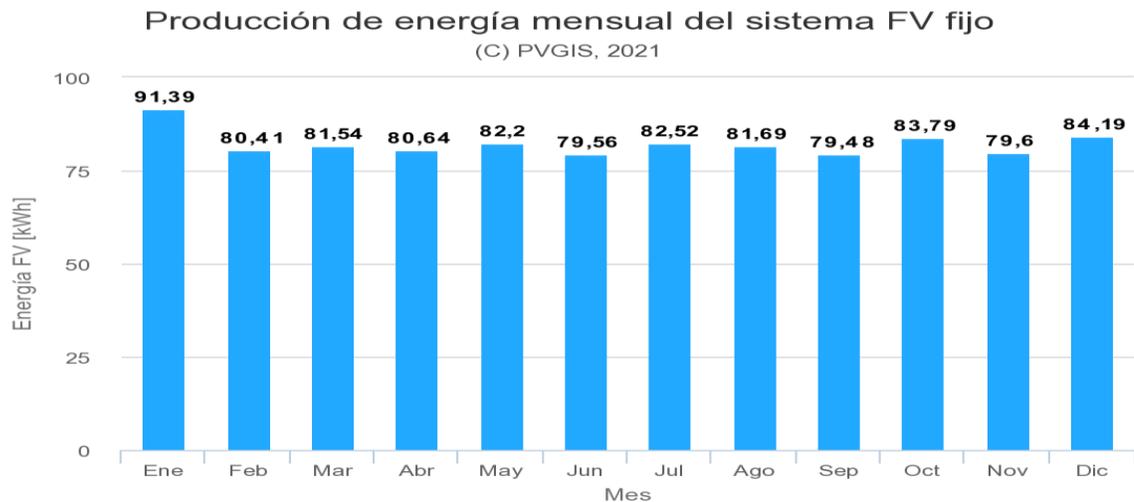


FIGURA 26. Resultado de la simulación de PVGIS Producción de energía mensual del arreglo de paneles ubicados hacia el Este

Sumando esos dos valores tenemos un valor de producción de energía mensual obtenido en la simulación realizada con el software libre PVGIS para el mes de Diciembre es de 172.19 KWh. Este valor se divide por los 31 días del mes para obtener la producción diaria que se debe obtener del arreglo instalado.

$$\text{Producción de energía diaria en la simulación} = \frac{(172.19 \text{ KWh})}{31 \text{ días}} = 5.55 \text{ KWh}$$

Para obtener el promedio de la potencia que genera la simulación del arreglo FV durante el día, se divide el valor de producción de energía diaria por el número de horas pico de sol que inciden en el nodo:

$$\text{Potencia promedio simulada} = \frac{\text{Producción de energía diaria en la simulación.}}{\text{Horas pico de sol}} = \frac{5.55 \text{ KWh}}{4,5 \text{ h}} = 1233,6 \text{ Watts}$$

5.2. POTENCIA REAL GENERADA POR EL ARREGLO FV

Se realizó mediciones durante 10 días de potencia en el arreglo fotovoltaico, iniciaron a las 5:30 am y finalizaron a las 19:00 pm, el muestro se realizó en intervalos de 30 minutos, para un total de 28 muestras por día.

La **(FIGURA 27)** muestra los valores reales de potencia generada por el arreglo FV durante el primer día de muestreo del mes de diciembre de 2020. El arreglo FV comienza a generar una potencia capaz de alimentar la carga del nodo después 6:30 AM, a partir de ahí la energía excedente será almacenada en el banco de baterías, el arreglo de paneles entrega una potencia significativa hasta las 5:30 PM, momento en que la carga del nodo se alimentará con la energía que se almacenó durante el día en el banco de baterías hasta que estas lleguen al voltaje DOD, umbral que activará la entrada AC y alimentará la carga del nodo hasta que el arreglo recargue nuevamente las baterías.

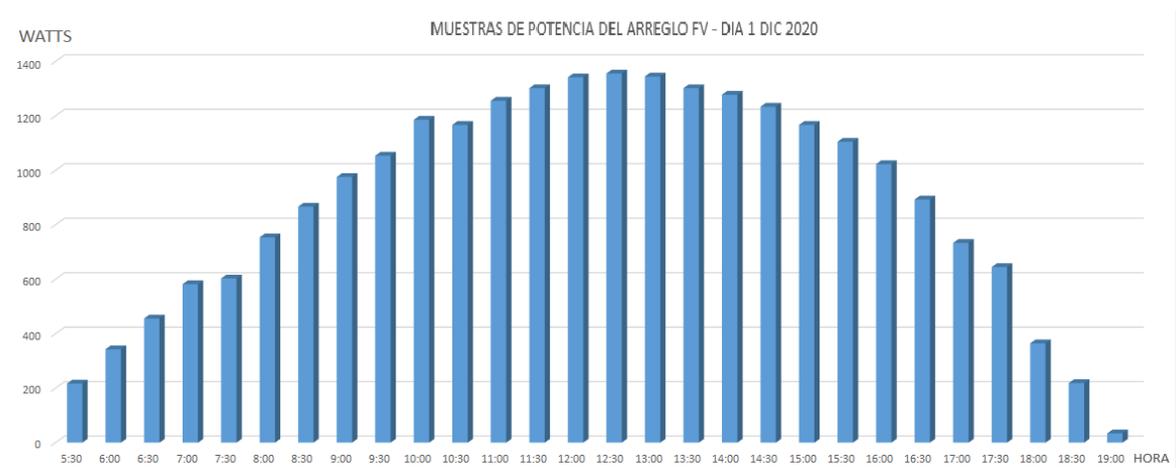


FIGURA 27. Muestras de potencia generada por el arreglo FV durante el 1 de diciembre de 2020.

Se empleó el software Matlab Online versión R2021b para graficar e integrar las mediciones realizadas de datos discretos de potencia. En la **(FIGURA 28)** se grafican los datos de potencia recolectados en los 10 días de muestreo por medio de la función trapz.

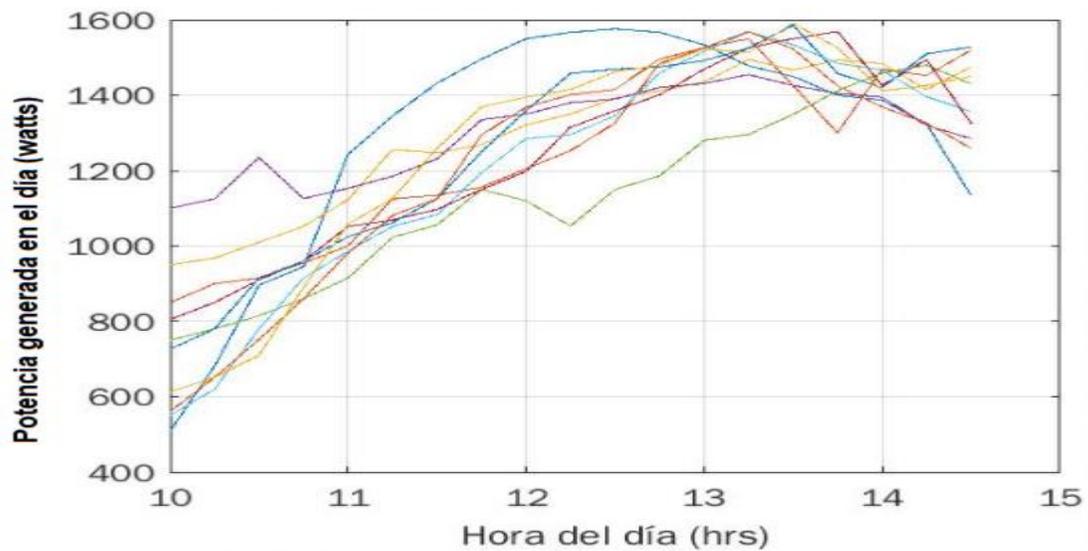
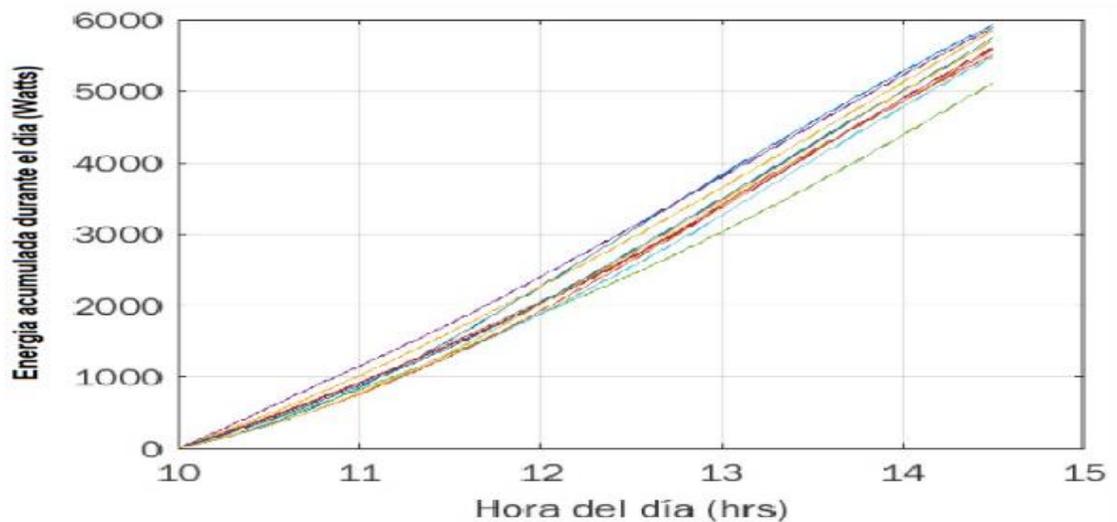


FIGURA 28. Potencia real generada por el arreglo FV durante 10 días de diciembre de 2020.



La función "cumtrapz" permite acumular el resultado de la integración de datos discretos en función del tiempo, de manera que al integrar las muestras de potencia en función del tiempo vamos a encontrar la energía total acumulada durante el día, estos resultados se mostraran en la **(FIGURA 30)** y se anexaran a la **Tabla 6**.

FIGURA 29. Acumulación de energía generada por el arreglo FV en 10 días distintos de diciembre, 2020.

Tabla 6. Datos de energía acumulada durante cada día de muestreo.

DIA	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Energía producida (Wh)	5805.59	5577.15	5829.23	5861.36	5107.26	5421.07	5571.94	5713.34	5443.34	5653.42

Se realiza un promedio de los valores de energía producida durante los diez días

$$Energía producida promedio = \frac{Producción de energía durante los 10 días}{10} = \frac{55.98 KWh}{10} = 5.59 KWh$$

$$Potencia diaria promedio = \frac{Promedio de Energía diaria}{Horas de muestreo} = \frac{5.59 KWh}{4.5 h} = 1242,2 Watts$$

5.3. ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA

En la **(FIGURA 30)** se muestra como el voltaje del banco de baterías empieza a crecer a partir de las 5:30 AM producto de la energía que empieza a generar el arreglo fotovoltaico, a las 7:30 AM el arreglo FV ya es capaz de alimentar completamente la carga del nodo y de enviar el excedente de energía que genera al banco de baterías implementado. Cuando las baterías son cargadas al 100 % se inyecta un voltaje de carga flotante para protegerlas de sobrevoltajes.

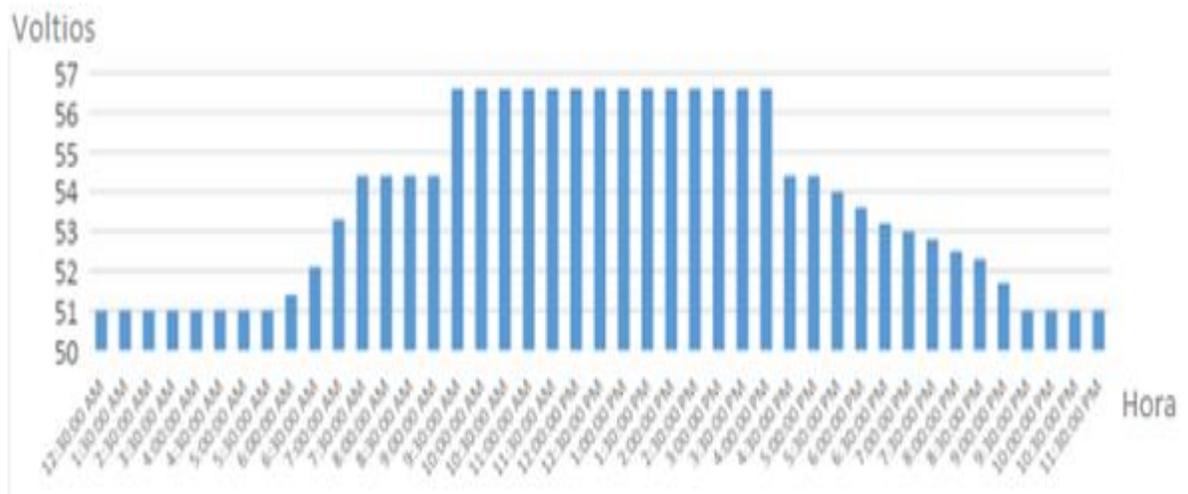


FIGURA 30. Voltaje promedio del banco de baterías durante el día

5.4. VALIDACION DEL SISTEMA:

Validación Arreglo FV. En la **Tabla 7.** se muestran los resultados obtenidos en potencia para el arreglo FV: El diseño teórico, la simulación en el software PVGIS y el promedio de las muestras de potencia tomadas en el día del arreglo FV instalado en el nodo Moscovia de la empresa mapa ingeniería.

Tabla 7. Comparación de la generación de energía por los tres métodos empleados

MÉTODO	Potencia de generación promedio en el día	Generación de energía promedio al día	Generación de energía total durante Diciembre del 2020
DISEÑO TEÓRICO	1280 Watts	5.78 KWh	179.2 KWh
SIMULACIÓN	1233 Watts	5.55 KWh	172.05 KWh
ARREGLO FV REAL	1242 Watts	5.58 KWh	173.29 KWh

$$\text{Error absoluto del diseño teórico} = 1280 \text{ Watts} - 1242 \text{ Watts} = 38 \text{ Watts}$$

$$\begin{aligned} \text{Error relativo del diseño teórico} &= 38 \text{ Watts} / 1242 \text{ Watts} = 3,05 * 100 \\ &= 3,05 \% \end{aligned}$$

$$\text{Error absoluto de la simulación} = |1233 \text{ Watts} - 1242 \text{ Watts}| = 9 \text{ Watts}$$

$$\begin{aligned} \text{Error relativo de la simulación} &= 9 \text{ Watts} / 1242 \text{ Watts} = 0,0072 * 100 \\ &= 0,72\% \end{aligned}$$

El error absoluto y relativo de potencia en la simulación como en el diseño teórico son similares con respecto al valor real de potencia, de lo anterior podemos decir que el software empleado genera un alto factor de confiabilidad y se recomienda entonces usar este software para el diseño de diversas soluciones que emplean paneles solares.

Además, la diferencia entre la potencia real y la diseñada es muy pequeña, esto es debido a que se seleccionó un tiempo de muestreo de 4.5 horas en las horas de sol pico como plantea el IDEAM.

Validación inversor Newton 2000. El inversor off grid muestra en su pantalla LCD diferentes valores de voltaje correspondientes al arreglo de paneles solares, banco de baterías, entrada AC, salida AC; también la frecuencia de entrada AC y

frecuencia de salida AC. Estos valores son los que se van a comparar con los datos obtenidos a partir de 7 muestras correspondientes al promedio de 3 mediciones realizadas con el multímetro UT203 + a distintas horas del día.

En la **Tabla 8** se anexaron todos los datos que presenta el display del inversor y en la **Tabla 9** las mediciones realizadas. El error absoluto en los datos se presenta en la **Tabla 10**.

Tabla 8. Muestras de voltaje y frecuencia por el inversor

VOLTAJE				FRECUENCIA	
ARREGLO FV	BATERÍA	ENTRADA AC	SALIDA AC	ENTRADA AC	SALIDA AC
10 Vdc	51 Vdc	119 Vac	119 Vac	60 Hz	60 Hz
38 Vdc	51.1 Vdc	119 Vac	119 Vac	60 Hz	60 Hz
60 Vdc	51.2 Vdc	119 Vac	119 Vac	60 Hz	60 Hz
76.3 Vdc	51.4 Vdc	119 Vac	119 Vac	60 Hz	60 Hz
81 Vdc	52.1 Vdc	119 Vac	119 Vac	60 Hz	60 Hz
85.5 Vdc	53.3 Vdc	119 Vac	119 Vac	60 Hz	60 Hz
91 Vdc	54.4 Vdc	119 Vac	119 Vac	60 Hz	60 Hz

Tabla 9. Muestras de voltaje y frecuencia por el multímetro UNIT – T (UT203+)

VOLTAJE				FRECUENCIA	
ARREGLO FV	BATERÍA	ENTRADA AC	SALIDA AC	ENTRADA AC	SALIDA AC
10.1 Vdc	51 Vdc	119.5 Vac	119 .9 Vac	60.01 Hz	59.98 Hz
38 Vdc	51.1 Vdc	119.8 Vac	119 .9 Vac	60 Hz	59.97 Hz
60 Vdc	51.2 Vdc	119.9 Vac	119.9 Vac	60.04 Hz	59.98 Hz
76.2 Vdc	51.4 Vdc	119.3 Vac	119.9 Vac	60 Hz	59.98 Hz
81.3 Vdc	52.1 Vdc	119.4 Vac	119.9 Vac	60.01 Hz	59.97 Hz
85.6 Vdc	53.3 Vdc	119.6 Vac	119.9 Vac	60.02 Hz	59.98 Hz
91 Vdc	54.4 Vdc	119.8 Vac	119.9 Vac	60.01 Hz	59.98 Hz

Tabla 10. Error absoluto entre las mediciones de voltaje y frecuencia con el display del Inversor.

VOLTAJE				FRECUENCIA	
ARREGLO FV	BATERÍA	ENTRADA AC	SALIDA AC	ENTRADA AC	SALIDA AC
0.1	0	0.5	0.9	0.01	0.02
0	0	0.8	0.9	0	0.03
0	0	0.9	0.9	0.04	0.02
0.1	0	0.3	0.9	0	0.02
0.3	0	0.4	0.9	0.01	0.03
0.1	0	0.6	0.9	0.02	0.02
0	0	0.8	0.9	0.01	0.02

De las mediciones anteriores se deduce que el error absoluto en las mediciones del voltaje DC y la frecuencia es muy bajo, esto indica que los parámetros leídos en el display del inversor son confiables para el operario que haga las lecturas, aunque el error en el voltaje de entrada y salida AC es mayor que en el resto de mediciones, presentan un error relativo por debajo del 1%, este valor no representa problemas al sistema, ya que tiene una tolerancia de hasta el 5%, además las lecturas de estos voltajes se da en números enteros. El inversor se configuró para que la salida sea de 120 Vac y aunque la lectura marca 119 Vac, el voltaje real medido es de 119.9 Vac que corresponde al valor configurado.

5.5. FALLAS EN EL SERVICIO DE ELECTROHUILA S.A E.S.P.

Durante el mes de diciembre de 2020 ocurrieron alrededor de 10 fallas en el servicio de la red eléctrica nacional en el nodo Moscovia, se hizo el reporte de dos fallas que duraron más de 4 horas y ocurrieron en horas de la noche, el día 19 de diciembre (#1453884 – radicado de llamada a Electrohuila) y la otra el día 25 de diciembre (#1457155 – radicado de llamada a Electrohuila); todas las fallas del servicio de electrohuila fueron transparentes para los clientes del nodo Moscovia por que el sistema de energía cumplió con su función.

6. CONCLUSIONES

- En el presente proyecto se diseñó e implementó un sistema de generación de energía fotovoltaico y la red eléctrica nacional para alimentar una carga eléctrica, con un banco de baterías que brinda respaldo energético en caso de que se presenten fallas en las entradas de alimentación, consiguiendo así algo de tiempo para que los operarios de la empresa MAPA INGENIERIA puedan reaccionar y solucionar las fallas en el nodo, y con esto brindar un servicio de excelente calidad para los clientes del mismo.
- Este sistema funciona de manera automática. Sin embargo, se implementó una manera para que los operarios puedan seleccionar manual y remotamente, las entradas de alimentación del sistema, permitiendo así que se puedan realizar mantenimientos preventivos y correctivos de manera fácil y segura.
- El error relativo presentado en las mediciones de los voltajes DC es alto debido a la diferencia en el tiempo de muestreo, mientras que el error relativo en las mediciones AC, y la frecuencia de entrada y salida, es bastante pequeño brindando confiabilidad al operario en los valores que le presenta el display del inversor.
- En la zona del nodo Moscovia se genera energía en gran parte del día, esto es debido a las bajas precipitaciones y días nublados, siendo así un lugar óptimo para instalaciones de energía fotovoltaica.
- Desde que el sistema implementado comenzó a funcionar, se consiguió reducir a cero las fallas eléctricas en el nodo, consiguiendo un aumento en el QoS y QoE de los usuarios del nodo.
- La solución implementada redujo los costos de mantenimiento del nodo Moscovia por temas de fallas de energía, y también una reducción en la tarifa eléctrica del nodo por 150 Kwh mensuales.

7. RECOMENDACIONES

- Es fundamental evitar sombras a cualquier hora del día sobre el arreglo de paneles solares.
- Cuando se hacen diseños de arreglos fotovoltaicos es importante sobredimensionar el requerimiento para que en los días de poca radiación solar funcione la carga sin problemas.
- Al instalar un sistema totalmente independiente de la red eléctrica nacional se aumentan mucho los costos, por qué se necesita de un banco de baterías muy grande que también ocupan mucho espacio.
- En el momento de dimensionar el inversor se debe implementar uno que soporte los picos de corriente de todos los electrodomésticos que se van a conectar para evitar bloqueos del mismo.
- Muchos parámetros del diseño del arreglo de paneles solares dependen del lugar donde van a ser instalados, es muy importante conocer la geografía y la geometría solar del sitio.
- Se deben implementar protecciones para el lado DC, como también las protecciones pertinentes para el lado AC; consiguiendo así evitar accidentes, un interruptor diferencial es indispensable para salvar una vida humana en caso de que suceda un corto circuito.
- Para que el interruptor Sonoff se enlace más rápido a internet es importante colocar el celular en modo avión, luego activar únicamente el wifi y conectarlo a la red wifi del sitio.

8. TRABAJOS A FUTURO

- Aprender a implementar los inversores ON GRID, ya que en este proyecto se implementó un inversor OFF GRID por el requerimiento de tener un respaldo energético para evitar interrupciones en el servicio del nodo de telecomunicaciones , sin embargo estos sistemas no son óptimos para los sectores residenciales por los elevados costos, para estos sectores funcionan bien los inversores ON GRID ya que no utilizan banco de baterías y reducen la tarifa energética, ya que durante el día la carga se alimenta con la energía del arreglo solar y la energía que no se utiliza es inyectada a la red eléctrica nacional.
- Realizar una interfaz gráfica para monitorear en tiempo real los datos de entrada y salida del inversor.
- Crear una aplicación móvil para saber que arreglo de paneles, inversor y banco de baterías se necesitan para requerimientos específicos de carga.

BIBLIOGRAFÍA

Barbosa LdSNS, Bogdanov D, Vainikka P, Breyer C (2017) Hydro, wind and solar power as a base for a 100% renewable energy supply for South and Central America. PLoS ONE 12(3): e0173820. Disponible en:

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0173820>

Hoyos, S., Franco, C.J., & Dyner, I. (2017). Integración de fuentes no convencionales de energía renovable al mercado eléctrico y su impacto sobre el precio. *Ingeniería y Ciencia*, 13, 115-146. Disponible en:

<https://www.semanticscholar.org/paper/Integraci%C3%B3n-de-fuentes-no-convencionales-de-energ%C3%ADa-Hoyos-Franco/20ccaefe905f54f51e91b89918d4275fd49a0e55>

RODRÍGUEZ-MEZA, M. A.; CERVANTES-COTA, Jorge L. El efecto fotoeléctrico. **CIENCIA ergo-sum**, [S.l.], v. 13, n. 3, p. 303-311, mar. 2015. ISSN 2395-8782. Disponible en:

<https://cienciaergosum.uaemex.mx/article/view/7167/5692>

Beltrán Bedolla, Christian. (2014). "Incorporación de plantas de generación fotovoltaica en redes modernas de suministro eléctrico". (Tesis de Licenciatura). Universidad Nacional Autónoma de México, México. Disponible en:

<https://repositorio.unam.mx/contenidos/169082>

Abella, M. (2014). Sistemas Fotovoltaicos. Libro PDF. CIEMAT, Universidad de Jaén. Disponible en:

http://api.eoi.es/api_v1_dev.php/fedora/asset/eoi:45337/componente45335.pdf

Alonzo Lorenzo J.A., (2019). Radiación, irradiación, azimut y horas sol pico en fotovoltaica. Disponible en:

<https://www.sfe-solar.com/noticias/articulos/como-varia-la-captacion-de-energia-solar-en-superficies-inclinadas/>

Amina Azizi, Pierre-Olivier Logerais, Amar Omeiri, Adel Amiar, Abdérafi Charki, Olivier Riou, Fabien Delaleux, Jean-Félix Durastanti (2018). Impact of the aging of a photovoltaic module on the performance of a grid-connected system. Solar Energy. Volume 174, 1 November 2018, Pages 445-454. Disponible en:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0038092X18308934?via%3Dihub>

Bowden, S. and Honsberg, C., (2017). Calculo de la insolación solar PVEducation. Disponible en:

<https://www.pveducation.org/es/fotovoltaica/2-propiedades-de-la-luz-del-sol/c%C3%A1lculo-de-la-insolaci%C3%B3n-solar>

Decreto 0570 del 23 de marzo de 2018 - República de Colombia. Ministerio de minas y energías. Disponible en:

<http://es.presidencia.gov.co/normativa/normativa/DECRETO%200570%20DEL%2023%20DE%20MARZO%20DE%202018.pdf>

Equipo de energía INDAP, (2018). Taller de sistemas fotovoltaicos – Equipos técnicos . Diseño fotovoltaico off grid. Disponible en:

<https://www.indap.gob.cl/docs/default-source/default-document-library/ppt10-dise%C3%B1o-fv-off-grid.pdf?sfvrsn=0>

FJ Acevedo Garcés. (2016) .DISEÑO DE UNA INSTALACIÓN SOLAR FOTOVOLTAICA CON CAPACIDAD PARA 3 KILOVATIOS. Proyecto de grado. Universidad abierta y a distancia (UNAD). Disponible en:

<https://repository.unad.edu.co/bitstream/10596/11834/1/10097742.pdf>

Gomez Ramirez et al. (2018). La energía solar fotovoltaica en Colombia: potenciales, antecedentes y perspectivas. Artículo de proyecto de grado. Universidad Santo Tomás. Disponible en:

<https://repository.usta.edu.co/handle/11634/10312>

G Peralta. (2016). Diseño e implementación de un sistema de respaldo fotovoltaico con posicionamiento de un grado de libertad, para la iluminación del departamento de logística del campamento de la empresa telconet SA sede Guayaquil. Proyecto de Grado. Universidad Politécnica Salesiana. Disponible en:

<https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/13152/1/UPS-GT001724.pdf>

Guevara Sánchez, Sebastián . Franco Gil, Julián(2016). Diseño e implementación de un sistema fotovoltaico interconectado a la red con soporte de almacenamiento en la universidad tecnológica de Pereira. Disponible en:

<http://repositorio.utp.edu.co/dspace/bitstream/handle/11059/7010/62131244S211d.pdf?sequence=1>

Guachún Villalta, Luis Miguel.(2018). Estudio de factibilidad de un sistema de energía renovable aplicado a un nodo de servicio de telecomunicaciones. Proyecto de grado. Universidad de Cuenca. Disponible en:

<https://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/30378/1/Trabajo%20de%20titulaci%C3%B3n.pdf>

Honsberg, C., & Bowden, S. (2017). Eficiencia | PVEducation. Disponible en:

<http://pveducation.org/pvcdrom/eficiencia>

Labandeira, X., Linares, P., & Würzburg, K. (2011). ENERGIAS RENOVABLES Y CAMBIO CLIMATICO. Economics for energy. Disponible en:

<https://labandeira.eu/publicacions/wp06-2012.pdf>

Montañez diego - 2016. Implementación de sistemas de energía híbridos en nodos de telecomunicaciones para mejorar la disponibilidad y eficiencia de la red. ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA DE PROYECTOS DE INGENIERÍA DE TELECOMUNICACIONES. Proyecto dirigido. Disponible en:

<https://repository.usta.edu.co/handle/11634/9920>

Morán Gorozabel - 2015. Diseño e implementación de un sistema de iluminación fotovoltaico de respaldo para los laboratorios de electrónica de potencia y control automático. Disponible en:

<https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/10404/1/UPS-GT001450.pdf>

Notton, G. (2017). Solar Radiation for Energy Applications. En M. A. Abraham (Ed.), Encyclopedia of Sustainable Technologies (pp. 339-356). Oxford: Elsevier. . Disponible en:

<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-409548-9.10130-7>

P Aucay – 2018. Diseño de un Sistema de Medición y Monitoreo del Consumo de Energía por Circuitos en el Hogar, Mediante Tecnología de Comunicación por Línea de Potencia. Disponible en:

<http://dspace.uazuay.edu.ec/bitstream/datos/7930/1/13668.pdf>

Pacheco Bohorquez Carlos Emmanuel – 2015. Diseño de un sistema de cámaras ip por medio de internet con respaldo de energía fotovoltaica para la urbanización la joya etapa esmeraldas. Disponible en:

<http://repositorio.ucsq.edu.ec/bitstream/3317/3927/1/T-UCSG-PRE-TEC-ITEL-90.pdf>

TILLEY, Richard J. D. Perovskites. (2016). Perovskites: structure-property relationships. Libro. Cardiff University, Reino Unido. Disponible en:

<https://books.google.com.co/books?hl=es&lr=&id=9qnLCgAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA1&dq=TILLEY, Richard+J.+D.+Perovskites&ots=ytvhLJzdRW&sig=QtNfVcsRnp1zsZV-85Hq7169sik#v=onepage&q=TILLEY%2CRichard%20J.%20D.%20Perovskites&f=false>

UPME (2015). Integración de las energías renovables no convencionales en Colombia. Unidad de Planeación Minero Energética (UPME). Gobierno de Colombia Disponible en:

http://www1.upme.gov.co/DemandaEnergetica/INTEGRACION_ENERGIAS_RENOVABLES_WEB.pdf

Perez M. and Torres I., (2019) Diseño de un sistema de generación para el distrito de riego en santa lucia atlántico. Disponible en:

<http://manglar.uninorte.edu.co/bitstream/handle/10584/8469/Informe%20Final%20Perez%20Torres.pdf?sequence=1&isAllowed=y>