



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA

**PROYECTO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO
DE INGENIERO ELECTROMECAÁNICO**

**TEMA: DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE
GENERACIÓN FOTOVOLTAICO CONEXIÓN A RED CON
ALMACENAMIENTO PARA EL LABORATORIO DE FUENTES
ALTERNATIVAS DE ENERGÍA DE LA UNIVERSIDAD DE LAS
FUERZAS ARMADAS ESPE EXTENSIÓN LATACUNGA**

AUTORES: OLA DAQUILEMA, LUIS MIGUEL

SALAS CALVA, JOSÉ ALEJANDRO

DIRECTOR: ING. JIMÉNEZ LEÓN, MARIO POLIBIO

LATACUNGA

2020



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA
CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA**

CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación, “**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE GENERACIÓN FOTOVOLTAICO CONEXIÓN A RED CON ALMACENAMIENTO PARA EL LABORATORIO DE FUENTES ALTERNATIVAS DE ENERGÍA DE LA UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS ESPE EXTENSIÓN LATACUNGA**” realizado por los señores **OLA DAQUILEMA, LUIS MIGUEL y SALAS CALVA, JOSÉ ALEJANDRO** el mismo que ha sido revisado en su totalidad, analizado por la herramienta de verificación de similitud de contenido; por lo tanto cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas, por lo tanto me permito acreditarlos y autorizar a los señores **OLA DAQUILEMA, LUIS MIGUEL y SALAS CALVA, JOSÉ ALEJANDRO** para que los sustente públicamente.

Latacunga, 21 de Enero del 2020

Ing. Jiménez León Mario Polibio

C.C.: 0501519326



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA
CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA**

AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

Nosotros, **OLA DAQUILEMA, LUIS MIGUEL y SALAS CALVA, JOSÉ ALEJANDRO**, declaramos que este trabajo de titulación **“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE GENERACIÓN FOTOVOLTAICO CONEXIÓN A RED CON ALMACENAMIENTO PARA EL LABORATORIO DE FUENTES ALTERNATIVAS DE ENERGÍA DE LA UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS ESPE EXTENSIÓN LATACUNGA”** es de nuestra autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Consecuentemente el contenido de la investigación mencionada es veraz.

Latacunga, 21 de Enero del 2020

Ola Daquilema, Luis Miguel

C.C.: 2300442718

Salas Calva, José Alejandro

C.C.: 1723911143



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA
CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA**

AUTORIZACIÓN

Nosotros, **OLA DAQUILEMA, LUIS MIGUEL y SALAS CALVA, JOSÉ ALEJANDRO**, autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar en la biblioteca virtual de la institución el presente trabajo de titulación “**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE GENERACIÓN FOTOVOLTAICO CONEXIÓN A RED CON ALMACENAMIENTO PARA EL LABORATORIO DE FUENTES ALTERNATIVAS DE ENERGÍA DE LA UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS ESPE EXTENSIÓN LATACUNGA.**” Cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra autoría y responsabilidad.

Latacunga, 20 de Enero del 2020

Una firma manuscrita en tinta azul que parece leer 'Luis Miguel Ola Daquilema', escrita sobre una línea horizontal.

Ola Daquilema, Luis Miguel

C.C.: 2300442718

Una firma manuscrita en tinta azul que parece leer 'José Alejandro Salas Calva', escrita sobre una línea horizontal.

Salas Calva, José Alejandro

C.C.: 1723911143

DEDICATORIAS

Dedicado a Dios por guiar mis pasos durante estos años, a mi Madre Rosa, a mi Padre René y a mis Abuelos Juana y Miguel que siempre los llevo en mi corazón, gracias el por apoyo incondicional y su sacrificio, gracias a ello pude llegar hasta aquí.

Luis

A mis padres José y Elsa que siempre me brindaron todo el cariño y apoyo para nunca decaer en los momentos más difíciles, y a mis hermanos Estefany, Nathaly y Emilio que siempre los llevo en el corazón.

Alejandro

AGRADECIMIENTOS

A todos quienes formaron parte de mi vida universitaria, en especial a mi familia y amigos, quienes estuvieron presentes en los buenos y malos momentos, pero siempre brindándome su apoyo para cumplir esta meta.

Luis

Agradezco a mi familia por ser el pilar fundamental para poder llegar a este logro, a todos mis amigos que me brindaron su afecto a lo largo de mi etapa universitaria, y a mi tutor por brindarme su conocimiento para el desarrollo de este trabajo.

Alejandro

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CARÁTULA

CERTIFICACIÓN	i
AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD	ii
AUTORIZACIÓN	iii
DEDICATORIAS	iv
AGRADECIMIENTOS	v
ÍNDICE DE CONTENIDOS	vi
ÍNDICE DE FIGURAS	xii
ÍNDICE DE TABLAS	xv
RESUMEN.....	xvii
ABSTRACT	xviii

CAPÍTULO I

PROBLEMÁTICA

1.1 Planteamiento del Problema.....	1
1.2 Antecedentes.....	1
1.3 Justificación e Importancia.....	2
1.4 Objetivos.....	4
1.4.1 Objetivo general.....	4
1.4.2 Objetivos específicos	4

CAPÍTULO II

FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

2.1 Energías renovables	5
2.2 Energía Solar	6
2.3 Energía solar fotovoltaica	6
2.4 Tipos de sistemas de generación solar fotovoltaico.....	7
2.4.1 Sistema de generación solar fotovoltaico aislado	7
2.4.2 Sistema de generación solar fotovoltaico de conexión a red	8

2.4.3	Sistema de generación solar fotovoltaica conexión a red con almacenamiento.....	9
2.5	Generación de energía solar fotovoltaica conexión a red con almacenamiento.....	10
2.5.1	Introducción	10
2.5.2	Almacenamiento en baterías de acumulación	11
2.5.3	Esquema de funcionamiento de un sistema fotovoltaico de conexión a red con almacenamiento.....	12
2.5.4	Ventajas y desventajas de los sistemas de generación de energía solar fotovoltaica conexión a red con almacenamiento	14
a.	Ventajas.....	14
b.	Desventajas	15
2.5.5	Selección del lugar para la instalación del sistema fotovoltaico de conexión a red con almacenamiento	16
2.6	Componentes de un sistema de generación solar fotovoltaica conexión a red con almacenamiento.....	17
2.6.1	Paneles fotovoltaicos.....	17
a.	Las células fotovoltaicas	17
b.	Tipos de células fotovoltaicas	18
2.6.2	Inversor Fotovoltaico.....	20
a.	Funciones de los inversores fotovoltaicos	21
b.	Parámetros de operación.....	22
c.	Tipos de inversores fotovoltaicos.....	23
c.1	Según su forma de onda.....	23
c.2	Según su aplicación.....	24
c.2.1	Autónomos.....	24
c.2.2	Conexión a red.....	24
c.3	De autoconsumo fotovoltaico con baterías	24
c.3.1	Inversores On-Grid	24
c.3.2	Inversores Cargadores Off-Grid.....	25
c.3.3	Comparaciones entre los inversores On-Grid y Off-Grid.	27
2.6.3	Baterías de acumulación	29
a.	Principio de funcionamiento.....	29

b.	Baterías de plomo.....	31
c.	Características eléctricas de las baterías	33
2.7	Dimensionamiento de un sistema de generación solar fotovoltaico	35
2.7.1	Cálculo de la demanda energética.....	35
2.7.2	Estimación del rendimiento global del sistema	36
2.7.3	Capacidad del banco de baterías	38
2.8	Medidor bidireccional.....	38
2.9	Monitoreo de datos	40
2.10	Dispositivos de seguridad	42
2.10.1	Protecciones del sistema de generación solar fotovoltaica.....	42
a.	Especificaciones para instalaciones fotovoltaicas	42
b.	Implantación de protecciones de seguridad para instalaciones de baja tensión	42
2.10.2.	Protecciones del inversor fotovoltaico.....	44
2.11	Autoconsumo	45
2.11.1	Modalidades del autoconsumo	46
2.11.2	Autoconsumo fotovoltaico	46
2.11.3	Opciones para mejorar el autoconsumo	48
2.12	Hipótesis	49
2.13	Variables de la investigación	49

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1	Antecedentes investigativos	52
3.2	Modalidad de la investigación	54
3.3	Tipo de investigación	54
3.3.1	Investigación bibliográfica.....	54
3.3.2	Campo de investigación.....	54
3.3.3	Despliegue de la función de la calidad (QFD).....	55
3.4	Diseño de la investigación	55
3.5	Niveles de la investigación.....	56

3.5.1	Exploratoria.....	56
3.5.2	Descriptiva.....	56
3.5.3	Investigación explicativa	56
3.6	Población y muestra	57
3.7	Técnicas de recolección de datos.....	57
3.7.1	Observación de laboratorio.....	57
3.7.2	Instrumentos	58
3.7.3	Técnica de análisis de datos.....	58
3.7.4	Técnicas de comprobación de Hipótesis	59

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN

4.1	Análisis de resultados.....	62
4.1.1	Mediciones de radiación solar	62
4.1.2	Demanda de una vivienda	64
4.2	Casa de la calidad	65
4.2.1	La voz del usuario.....	65
4.2.2	La voz del ingeniero.....	65
4.2.3	Desarrollo de la matriz QFD	66
a.	La voz del usuario para el desarrollo del sistema fotovoltaico	66
b.	La voz del ingeniero para el desarrollo del sistema fotovoltaico	66
4.2.4	Conclusión de la matriz QFD	67
4.2.5	Comprobación de la Hipótesis	68
a.	Hipótesis nula	68
b.	Hipótesis alternativa.....	68
4.2.6	Estadístico de prueba	68

CAPÍTULO V

PROPUESTA

5.1	Tema de la propuesta.....	70
5.2	Datos Informativos	70

5.2.1	Beneficiarios	70
5.3	Objetivos.....	71
5.3.1	Objetivo General.....	71
5.3.2	Objetivos Específicos.....	71
5.4	Justificación del problema.....	71
5.5	Fundamentación de la propuesta.....	72
5.6	Diseño de la propuesta	72
5.6.1	Resumen	72
5.6.2	Arquitectura del proyecto	73
5.7	Criterios de selección.....	74
5.7.1	Cálculo de potencia instalada	75
a.	Cálculo de la potencia del inversor	76
b.	Selección del inversor On/Off Grid.....	76
c.	Justificación de la selección del inversor.	77
d.	Selección del panel solar	78
d1.	Justificación de la selección del panel solar.	79
d2.	Número de total de Paneles Solares	79
d3.	Encontrar el Voltaje máximo del panel.....	80
d4.	Encontrar el Voltaje mínimo del panel	81
d5.	Paneles en serie máximos.....	81
d6.	Paneles en serie mínimos.....	82
d7.	Número de hileras máximo	82
5.7.2.	Dimensionamiento del banco de Baterías	84
a.	Velocidad de descarga de la Batería	86
b.	Número de Baterías en serie	87
c.	Selección de la Batería de acumulación	87
d.	Justificación de selección de baterías.....	88
5.7.3.	Selección del medidor de energía bidireccional.....	89
a.	Justificación de selección de medidor bidireccional.....	89
5.7.4.	Selección del medidor de energía.....	91
a.	Justificación de selección del medidor de energía.....	91

5.7.5.	Criterio de selección del software	92
a.	Interfaz.....	93
c.	Información básica.....	94
5.8	Metodología para la ejecución de la propuesta del proyecto	94
5.8.1	Diseño del sistema fotovoltaico.....	94
5.8.2	Esquema de conexionado de los equipos.	94
5.8.3	Comunicación del sistema fotovoltaico con el computador.....	95
5.8.4	Configuraciones iniciales Solar Power.....	96
5.9	Metodología de trabajo	99
5.9.1	Conexión de los equipos de medida	99
5.9.2	Configuración del inversor para que trabaje como on/off grid.....	100
5.10	Pruebas de funcionamiento del sistema fotovoltaico	100
5.10.1	Flujos energía	102
5.10.2	Registro de datos.....	105
5.11	Análisis del balance energético.	107
5.11.1	Análisis del rendimiento del sistema de generación fotovoltaico conexión a red con almacenamiento.....	107
5.11.2	Balance de potencias del sistema fotovoltaico	112
CONCLUSIONES.....		118
RECOMENDACIONES		119
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS		121
ANEXOS		¡Error! Marcador no definido.

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Paneles solares	7
Figura 2. Sistema fotovoltaico aislado	8
Figura 3. Sistema fotovoltaico de conexión a red	9
Figura 4. Sistema fotovoltaico de conexión a red con almacenamiento	10
Figura 5. Esquema de funcionamiento de un sistema fotovoltaico de conexión a red con almacenamiento	14
Figura 6. Partes de una célula fotovoltaica	18
Figura 7. Tipos de células fotovoltaicas según su geometría.	20
Figura 8. Curva de potencia de un panel solar	22
Figura 9. Esquema interno de un inversor On-Grid	25
Figura 10. Esquema interno de un inversor Off-Grid	26
Figura 11. Carga de una batería	30
Figura 12. Descarga de una batería	31
Figura 13. Composición interna de una batería de plomo	32
Figura 14. Flujo de energía eléctrica entre los sistemas tradicionales y los sistemas	39
Figura 15. Medidor bidireccional	40
Figura 16. Esquema de un sistema de monitoreo	41
Figura 17. Interruptor diferencial	44
Figura 18. Esquema de la carga neta diaria (A+C), la generación neta (B+C) y el autoconsumo absoluto C.	47

Figura 19. Curva de irradiancia diaria.....	63
Figura 20. Arquitectura del proyecto.....	74
Figura 21. Inversor InfiniSolar 3kW.....	78
Figura 22. Panel Solar SUNMART P60-270 Wp.....	79
Figura 23. Esquema de la conexión de los 8 paneles en serie.....	84
Figura 24. Curva de Descarga de la Batería.....	86
Figura 25. Batería de Gel 12 V 200 Ah.....	88
Figura 26. Medidor bidireccional.....	90
Figura 27. Analizador de Calidad de Energía Eléctrica Modelo 3945.....	90
Figura 28. Medidor de energía D52-2047.....	92
Figura 29. Interfaz Software SolarPower.....	93
Figura 30. Esquema de conexionado.....	95
Figura 31. Conexión entre el inversor y el ordenador.....	96
Figura 32. Verificación de comunicación.....	97
Figura 33. Configuraciones preliminares.....	97
Figura 34. Configuraciones iniciales del inversor.....	98
Figura 35. Modos de trabajo.....	99
Figura 36. Foto de la pantalla del inversor.....	101
Figura 37. Captura de pantalla del Solar Power.....	102
Figura 38. Modo encendido.....	103
Figura 39. Modo espera.....	103
Figura 40. Modo en línea.....	104
Figura 41. Modo de batería.....	104

Figura 42. Modo de fallo	105
Figura 43. Exportación de registro de datos del Solar Power	106
Figura 44. Exportación de registro de datos del Analizador AEMC 3945	107
Figura 45. Equipos de medición instalados en el sistema	108
Figura 46. Irradiancia Solar.....	110
Figura 47. Potencia entregada a la red.....	111
Figura 48. Irradiancia Solar.....	114
Figura 49. Curva de potencia del sistema fotovoltaico y curva de potencia solar.....	115
Figura 50. Balance de potencias a las 10h00.....	116
Figura 51. Balance de potencias a las 15h00.....	117

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.	<i>Tipos de células fotovoltaicas según su construcción</i>	19
Tabla 2.	<i>Inversores On-Grid y Off-Grid</i>	27
Tabla 3.	<i>Operacionalización de la variable independiente</i>	50
Tabla 4.	<i>Operacionalización de la variable dependiente</i>	51
Tabla 5.	<i>Preguntas básicas para la solución de problemas</i>	57
Tabla 6.	<i>Mediciones realizadas del 14 de mayo del 2019 al 18 de junio del 2019</i>	62
Tabla 7.	<i>Datos de irradiación solar promedio de 10 años en Cotopaxi</i>	64
Tabla 8.	<i>Estrados de consumo</i>	65
Tabla 9.	<i>Variable de investigación</i>	68
Tabla 10.	<i>Cuestionario de las variables de investigación</i>	69
Tabla 11.	<i>Especificaciones técnicas del inversor de los inversores InfiniSolar y Renogen</i>	76
Tabla 12.	<i>Opciones de selección de paneles solares</i>	78
Tabla 13.	<i>Datos meteorológicos de la ciudad de Latacunga</i>	79
Tabla 14.	<i>Baterías de acumulación para instalaciones fotovoltaicas</i>	88
Tabla 15.	<i>Comparación de los contadores de energía</i>	89
Tabla 16.	<i>Comparación de los medidores de energía para la carga</i>	91
Tabla 17.	<i>Registro de datos de irradiancia solar y la potencia de la red</i>	108
Tabla 18.	<i>Registro de datos de las potencias de los equipos</i>	111

Tabla 19. *Resumen del registro de datos tomados del Solar Power y registro de datos de irradiancia. 113*

RESUMEN

El presente trabajo de titulación se basó en el diseño e implementación de un sistema de generación fotovoltaico conexión a red con almacenamiento para el laboratorio de energías renovables de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Extensión Latacunga, el cual permite generar energía eléctrica a partir de la radiación solar, la cual es aprovechada por los paneles solares, para luego gestionar su consumo mediante un inversor On / Off Grid, cuya función principal es alimentar la carga y baterías cuando la energía solar esté disponible, cuando la radiación sea nula, las baterías alimentarán a la carga. En el momento en que las baterías estén descargadas la red eléctrica suministrará de energía a la carga, de la misma manera si existe un exceso de energía producida por los paneles solares, el sistema inyectará el excedente a la red pública. Para el monitoreo de las variables eléctricas del sistema fotovoltaico se dispone del programa Solar Power, así como de un medidor de energía bidireccional o de un analizador de calidad de energía, el cual cuantificará lo que suministra el sistema a la red y viceversa, así se podrá calcular el ahorro energético que el sistema pueda otorgar.

PALABRAS CLAVE

- **ENERGÍA FOTOVOLTAICA**
- **ENERGÍAS RENOVABLES**
- **INVERSORES ON/OFF GRID**
- **ENERGÍA SOLAR – BATERIAS**

ABSTRACT

This degree work was based on the design and implementation of a photovoltaic generation system connected to the grid with storage for the renewable energy laboratory of the University of the Armed Forces ESPE Latacunga Extension, which allows to generate electricity from solar radiation, which is used by the solar panels, and then manage their consumption through an On / Off Grid inverter, whose main function is to feed the load and batteries when solar energy is available, when the radiation is zero, the batteries will feed the load. When the batteries are discharged, the electric grid will supply energy to the load. In the same way, if there is an excess of energy produced by the solar panels, the system will inject the excess into the public grid. To monitor the electrical variables of the photovoltaic system, the Solar Power program is available, as well as a two-way energy meter or an energy quality analyzer, which will quantify what the system supplies to the grid and vice versa, so that the energy savings that the system can provide can be calculated

KEYWORDS:

- **PHOTOVOLTAIC GENERATION**
- **RENEWABLE GENERATION**
- **ON/OFF GRID INVERTERS**
- **SOLAR ENERGY-BATTERIES**

CAPÍTULO I

PROBLEMÁTICA

1.1 Planteamiento del Problema

El principal reto que enfrenta un sistema de generación fotovoltaico es la gestión de la producción de energía variable debido a las fluctuaciones de la radiación solar, por ello la acumulación de energía en baterías asegura un suministro prácticamente continuo de energía, lo que puede proporcionar un ahorro económico al no consumir energía de la red en horas pico y por otra parte ayuda a la obtención de una red más robusta al inyectar energía a la misma.

Para constatar los beneficios que ofrece el sistema de generación fotovoltaico de conexión a red con acumulación, se diseñará e implementará uno de estos sistemas en el Laboratorio de Fuentes de Energía Alternativa de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE extensión Latacunga, la misma que servirá como un sistema de entrenamiento.

1.2 Antecedentes

El rápido agotamiento de las fuentes de energía convencionales es cada vez mayor, hoy en día la demanda de energía ha llevado a la investigación de nuevas plantas de energía más eficientes y verdes, con tecnología avanzada. En países como Malasia han tomado algunas medidas para expandir el despliegue de energía limpia, mediante la adopción de tarifas de energía bajo la Ley de Energía Renovable decretada en el 2011.(Subramani, 2017)

Los sistemas fotovoltaicos solares también pueden ofrecer una solución alternativa a la reducción de la demanda máxima de energía debido a la capacidad de suministrar energía durante las horas pico, por lo cual en el Ecuador se ha dispuesto de la regulación Nro. ARCONEL – 042/18, en la que especifica lo siguiente: *“El estado brindará las condiciones para el desarrollo, implementación y participación de consumidores que cuenten con sistemas de microgeneración fotovoltaico.”*

Desafortunadamente, los factores ambientales, como la irradiación afectan la potencia de salida en un sistema fotovoltaico y por esto el sistema de almacenamiento mediante baterías está recibiendo más atención y se espera que el uso de baterías en combinación con sistemas fotovoltaicos con conexión a red se convierta en una solución de almacenamiento de energía ampliamente aplicada para atender la demanda máxima y así lograr tener una red eléctrica más robusta. (Moreno Díaz, 2017)

Se podrá cuantificar el ahorro energético que puede brindar el sistema de generación fotovoltaico de conexión a red con almacenamiento al implementarlo como un sistema de almacenamiento, el cual podrá ser monitoreado en tiempo real.

1.3 Justificación e Importancia

Según la regulación Nro. ARCONEL – 042/18 Art. 26.- Energías renovables no convencionales, especifica que: *“El Ministerio de Electricidad y Energía Renovable promoverá el uso de tecnologías limpias y energías alternativas, de conformidad con lo señalado en la Constitución que propone desarrollar un sistema eléctrico sostenible, sustentado en el aprovechamiento de los recursos renovables de energía”* y teniendo en

cuenta que parte de los principios filosóficos de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE es la conservación, defensa, cuidado del medio ambiente y el racional aprovechamiento de los recursos naturales, combinado con la formación integral de profesionales de excelencia con enfoque investigativo, capaces de solucionar problemas en el entorno que se desarrollen, por lo cual en el siguiente proyecto se busca integrar todos estos parámetros mencionados.

El sistema fotovoltaico de conexión a red con almacenamiento comprende otro tipo de clasificación de los sistemas fotovoltaicos. En el Laboratorio de Fuentes Alternativas de Energía existen del tipo aislado y conexión a red, con esto se podrían realizar prácticas de laboratorio con el fin de establecer criterios sobre ahorros energéticos mediante la adquisición de datos y procesamiento de los mismos. El sistema ofrece una mayor confiabilidad, disponibilidad y calidad de servicio debido a que tiene la posibilidad de almacenar la energía en baterías, una alta radiación solar durante el día asegura que se cubran la demanda de la carga, que se aporte energía a la red y que las baterías se carguen en su totalidad para hacer uso de esa energía acumulada por las noches. (Hernández, 2015)

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo general

Diseñar e implementar un sistema fotovoltaico de conexión a red con almacenamiento para el laboratorio de Fuentes Alternativas de Energías de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Extensión Latacunga.

1.4.2 Objetivos específicos

- Diseñar un sistema de generación fotovoltaica de conexión a red con almacenamiento, con un rango de potencia manejable dentro del laboratorio.
- Implementar el sistema de generación fotovoltaico en el laboratorio de fuentes alternativas de energía.
- Implementar una interfaz de comunicación para la extracción de datos del sistema fotovoltaico.
- Cuantificar el ahorro energético a partir de los datos obtenidos del sistema.

CAPÍTULO II

FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

2.1 Energías renovables

Como lo indica (Paredes, 2017a), la forma de reemplazar las fuentes tradicionales de generación y reducir a cero la emisión de carbono hacia el medio ambiente es incursionar en la “generación de energía a partir del viento o del sol”, ya que en la actualidad este tipo de generación se volvieron competitivas y esto se debe a su crecimiento a nivel mundial.

En comparación a las fuentes convencionales de generación de energía, resulta difícil instalar sistemas de generación de energía renovable a gran escala, estos se caracterizan por ser fuentes de generación distribuida que puede ofrecer beneficios tales como, reducción de pérdidas eléctricas en transmisión y distribución, mayor resiliencia y beneficios económicos como inversión en infraestructura (Paredes, 2017b).

Lograr la integración de energías renovables a la red convencional lleva consigo al desarrollo de nuevas y sofisticadas infraestructuras eléctricas que gestione la demanda y aumente la eficiencia eléctrica por lo cual se fomenta el desarrollo de las redes inteligentes.

2.2 Energía Solar

Este tipo de energía es la resultante de reacciones nucleares de fusión que llegan a la Tierra a través del espacio, los rayos solares pueden ser utilizados por otros tipos de energía como lo son la hidráulica, eólica, mareomotriz, etc.(Tous, 2009).

Al tener un potencial inagotable y ser empleada en todas las actividades que el ser humano realiza esta se encuentra en el grupo de las energías renovables. *“En un cuarto de hora el sol puede emitir más de la energía que el planeta necesitaría durante un año. Hasta la tierra únicamente llega $1,7 \times 1.014 \text{ kW}$.”*(Sánchez, 2018).

2.3 Energía solar fotovoltaica

Según menciona Villalva (2010) una de las características fundamentales de este tipo de energía es que puede ser usada en cualquier lugar, generando energía eléctrica para el autoconsumo.

La energía eléctrica puede ser obtenida transformando la radiación solar por medio de células fotovoltaicas las cuales conforman un panel solar. La energía puede ser usada directamente a la carga, almacenada en acumuladores para su posterior utilización y también puede inyectarse a la red de suministro eléctrico proporcionado por una empresa distribuidora.(Muñiz & García, 2008a).En la figura 1 se muestra los paneles solares de una instalación fotovoltaica que se encuentran expuestos a la luz solar.



Figura 1. Paneles solares

Fuente: (Viloria, 2013)

2.4 Tipos de sistemas de generación solar fotovoltaico

2.4.1 Sistema de generación solar fotovoltaico aislado

Los sistemas de generación solar fotovoltaico aislados tienen su mayor aplicación en aquellos lugares en donde es difícil llevar la energía eléctrica como en zonas rurales, por lo tanto, estos sistemas no están conectados a la red eléctrica. Para garantizar el uso de la energía eléctrica estos sistemas aislados cuentan con paneles solares que aprovechan la radiación solar para generar energía eléctrica y además son capaces de acumular energía en baterías asegurando la disponibilidad de la energía durante efectos naturales adversos como la nubosidad o la noche.(Vallina, 2010)

Como se muestra en la figura 2 un sistema fotovoltaico aislado se caracteriza por conformarse de un módulo de paneles solares que capta la energía del sol, un regulador o controlador que es capaz de controlar el estado de carga de las baterías así como el suministro a la instalación, la batería que sirve para proveer de energía a la instalación cuando no exista la suficiente radiación solar, el inversor es el que transforma la corriente

continúa dada por los paneles y las baterías a corriente alterna para ser consumida por la carga. (Style, 2013)



Figura 2. Sistema fotovoltaico aislado

Fuente: (Santamaría & Castejón, 2010)

2.4.2 Sistema de generación solar fotovoltaico de conexión a red

Este tipo de sistema entrega una parte de lo que genera los paneles fotovoltaicos a la red y también consume energía de la red, se caracteriza por no contar con baterías para almacenar energía, es indispensable el uso de un equipo de medida cuantificar la energía de salida y entrada. (Pérez, 2019)

Un sistema solar fotovoltaico de conexión a red está constituido por paneles fotovoltaicos que son los encargados de captar la energía del sol, el inversor es el que gestiona la energía proveniente de los paneles y de la red eléctrica que además este transforma la energía de los paneles de DC a AC para poder ser utilizada por la carga y también ser inyectada a la red local y un contador bidireccional que cuantifica la energía que se genera y la que se nos suministra de la red. (Cáceres et al., 2011).

En la figura 3 se muestra los elementos principales que constituyen un sistema de generación solar fotovoltaico de conexión a red.

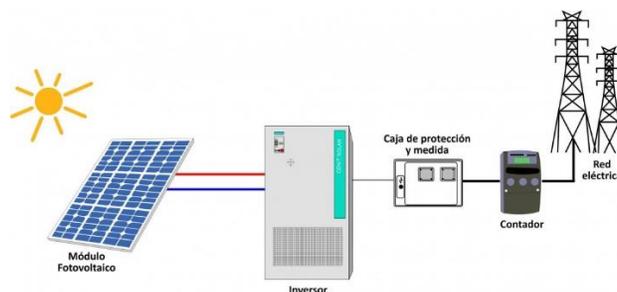


Figura 3. Sistema fotovoltaico de conexión a red

Fuente:(SERRANO, 2016)

2.4.3 Sistema de generación solar fotovoltaica conexión a red con almacenamiento

Este tipo de sistema son los más apropiados para producir un ahorro en una instalación ya que puede almacenar energía en baterías para su uso y no solo depender de la red eléctrica local cuando no exista la producción fotovoltaica adecuada. (Quetzal Ingeniería, 2016a)

Los componentes elementales del sistema de generación solar fotovoltaica conexión a red con almacenamiento son los paneles fotovoltaicos, el inversor, y las baterías de acumulación, juntando así todos los elementos que disponen los sistemas de tipo aislado y de conexión a red dando lugar a una mayor fiabilidad. (Cadenas, 2014a)

La representación mostrada en la figura 4 muestra el tipo de instalación en donde el inversor es el encargado de gestionar los tres tipos de energía que existen en el sistema:

solar, red local y de las baterías. Los paneles fotovoltaicos captan la energía del sol para luego ser transformada por el inversor y ser consumida por la carga. Cuando exista un exceso de producción fotovoltaica la energía será acumulada en las baterías para poder ser usada cuando las condiciones climatológicas sean adversas para el sistema garantizando energía eléctrica continua, además el sistema también es capaz de poder inyectar energía a la red. Cuando el sistema se queda sin capacidad, tanto las baterías, como los paneles fotovoltaicos, la carga es alimentada por la red local.

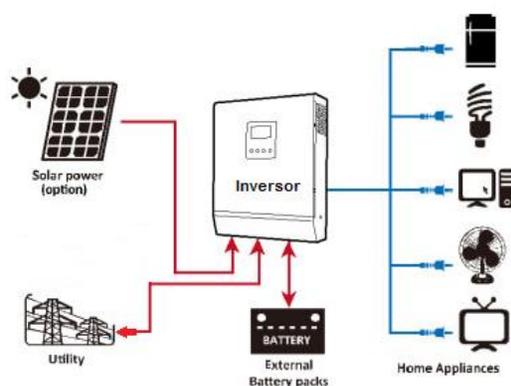


Figura 4. Sistema fotovoltaico de conexión a red con almacenamiento

Fuente: (Cambio Energético, 2014)

2.5 Generación de energía solar fotovoltaica conexión a red con almacenamiento

2.5.1 Introducción

El uso de instalaciones fotovoltaicas ha recibido una gran acogida debido a que es una energía limpia e inagotable sin causar daño al ecosistema. No obstante, estos sistemas fotovoltaicos son discontinuos debido a que ellos dependen de las condiciones climáticas, es aquí donde se le da importancia a las tecnologías de almacenamiento que serán

fundamentales para aumentar la disponibilidad y fiabilidad del sistema, asegurando el suministro continuo de energía.(Parra et al., 2014a)

Las baterías de acumulación es el equipo más apropiado cuando se trata de acumular energía proveniente del sol, las baterías acumulan la energía excedente suministrada por los módulos fotovoltaicos para poder ser utilizadas más adelante reduciendo el impacto negativo de las condiciones climáticas. Además, este sistema fotovoltaico cuenta con la conexión a la red local añadiendo aún más la flexibilidad del sistema eléctrico y ayudando a gestionar el aumento de los picos de demanda.(Parra et al., 2014b)

2.5.2 Almacenamiento en baterías de acumulación

En el mercado existe una amplia variedad de tecnologías de almacenamiento de energía dependiendo de la aplicación en que se la quiera utilizar, las características varían en cuanto a la velocidad de alimentación, tiempo de descarga, duración de vida útil, etc. Para instalaciones fotovoltaicas los mejores métodos para almacenar energía eléctrica capaz de ser un apoyo de las energías renovables y ser usados a nivel residencial son las baterías de plomo-ácido y las baterías de ion-litio, estas baterías han sido la tecnología más madura como sistema de apoyo de las instalaciones fotovoltaicas para cubrir la demanda de energía de una vivienda. (Zhang et al., 2017a)

El propósito de la unidad de almacenamiento es equilibrar la carga eléctrica, entre la generación fotovoltaica y la demanda residencial, con la acumulación de energía se puede cubrir los requerimientos de energía de una casa. (Zhang et al., 2017b)

Las baterías de plomo-acido son las más usadas a causa del menor costo que tiene a comparación de las baterías de ion-litio, a pesar de que las de ion-litio tienen mayor tensión. Otras de las ventajas que pesan en las baterías de plomo-acido es que son bajas en autodescarga de corriente en comparación con las de níquel-cadmio y níquel-hidruro metálico y son relativamente de fácil mantenimiento.

Según (World Health Organization, 2017) las baterías son reciclables *“La fabricación de baterías de plomo-ácido constituye alrededor del 85% de la demanda mundial de metal de plomo refinado. La mayor parte de esta demanda es satisfecha por plomo reciclado y, de hecho, una fuente principal es el reciclaje de baterías de plomo-ácido”*.

Los sistemas fotovoltaicos que combinan la conexión a la red y el almacenamiento en baterías de acumulación hacen que un sistema sea más rentable, una gran capacidad de almacenamiento es una estrategia para aumentar la relación de autoconsumo. Las baterías al ser cargadas de energía por los paneles fotovoltaicos pueden ayudar por las noches, ya que se usa para suavizar aún más el consumo y por lo tanto reducir los picos con grandes fluctuaciones en el precio de la electricidad sobre el día. (Luthander et al., 2015a)

2.5.3 Esquema de funcionamiento de un sistema fotovoltaico de conexión a red con almacenamiento

Este tipo de instalación fotovoltaica genera un ahorro energético-económico a una vivienda, ya que estos sistemas trabajan en conjunto con la red y con baterías de acumulación, alimentándose de la energía producida por los módulos fotovoltaicos y la

red eléctrica local, además de ser capaz de almacenar excedentes de energía en las baterías de acumulación para ser utilizadas por la noche o cuando no exista presencia de radiación solar y también inyectar de energía a la red local cuando las baterías estén a su capacidad máxima.(Quetzal Ingeniería, 2016b) .El esquema de la figura 5 describe su funcionamiento de la siguiente manera:

- El inversor es el encargado de gestionar la energía producida por los paneles fotovoltaicos, la energía de la red eléctrica y la energía almacenada por las baterías.
- El inversor transforma la energía producida por los paneles solares para alimentar la carga.
- El inversor gestionará que los excedentes de producción pasen al sistema de almacenamiento.
- Cuando exista una excesiva producción de energía y las baterías estén cargadas totalmente el inversor inyectara el exceso a la red.
- Cuando se queda sin capacidad las baterías, y la energía fotovoltaica no es lo suficiente para alimentar la carga, el inversor tomara energía de la red.
- Las baterías al quedarse sin capacidad, nunca se cargarán de energía proveniente de la red.
- Cuando se queda sin capacidad las baterías, la carga se alimenta solo de los módulos fotovoltaicos en paralelo con la red.

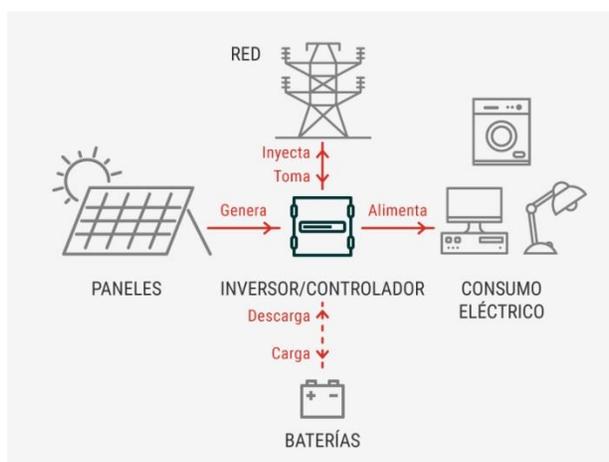


Figura 5. Esquema de funcionamiento de un sistema fotovoltaico de conexión a red con almacenamiento

Fuente:(Exo Energy, 2019)

2.5.4 Ventajas y desventajas de los sistemas de generación de energía solar fotovoltaica conexión a red con almacenamiento

a. Ventajas

Las ventajas que puede presentar un sistema fotovoltaico de conexión a red con almacenamiento son los siguientes:

- Mejora los transitorios, mejora de la capacidad, aumenta la potencia instantánea.(Velasco & Trujillo, 2014a).
- Una vivienda o edificio que cuente con este tipo de sistema de generación de energía puede reducir el consumo de la misma entregada por la red, lo cual influye directamente en la reducción del costo en la planilla.
- Puede aportar energía a la red en horas pico, aliviando la carga en la red.(Rodríguez & Achedad, 2016)

- Reduce la emisión de CO₂, debido a que puede reemplazar a otros sistemas de generación como lo son los térmicos, que generan a partir de la combustión de diésel, bunker, etc.(Velasco & Trujillo, 2014b)
- Si se requiere un sistema de gran capacidad como pueden ser huertas solares, o pequeñas capacidades, tales como viviendas, los componentes son los mismos y se basan en el mismo comportamiento.(Muñiz & García, 2008b)
- Supera el problema de intermitencia en su generación con el almacenamiento de energía en baterías de acumulación.

b. Desventajas

Este sistema fotovoltaico además presenta ciertos inconvenientes que son los siguientes:

- El costo de inversión es elevado, se estima que se recupera pasados los 10 a 15 años.(Levante, 2019a), por ejemplo el uso de baterías de acumulación hace que se requiera un mantenimiento seguido, y su vida útil es limitada.(Antonio et al., 2015)
- Es considerada una de las formas más caras de producir energía eléctrica
- Cuando exista condiciones climatológicas desfavorables el sistema fotovoltaico disminuirá su rendimiento ya que depende del sol.
- La suciedad en los módulos fotovoltaicos representa una pérdida de potencia, proporcional a la caída de corriente, ya que reduce su irradiación.

- Las sombras son inevitables, el efecto de las sombras sobre los paneles fotovoltaicos reduce su productividad.
- La energía solar no es contaminante, pero sí lo es la producción de las células fotovoltaicas de silicio que pueden ir perdiendo eficacia con los años. (Levante, 2015b)

2.5.5 Selección del lugar para la instalación del sistema fotovoltaico de conexión a red con almacenamiento

Para proceder a instalar este tipo de sistema se debe disponer del espacio suficiente para colocar todos los equipos evitando así que se puedan proyectar sombras sobre los paneles. A continuación, se detallan algunos de los requisitos más relevantes para tener una óptima instalación.

- Posicionamiento de los paneles: se necesita suficiente espacio en el techo, piso o poste para poner los paneles. Se deben
- evitar las sombras.
- Según (Alvarez, 2017), la inclinación para aprovechar niveles óptimos de radiación en el Ecuador, es de 5° y 10° como máximo.
- La estructura del techo o del poste/marco de soporte debe resistir el peso de los paneles y ser suficientemente fuerte para soportar la fuerza extra del viento.
- Los paneles deben ser montados de tal manera que sean accesibles para limpieza y servicio. Esto también se aplica a la unidad de control, inversor y el banco de baterías.

- Los paneles deben ser protegidos contra robo o cualquier otra fuente de daño (vandalismo, niños jugando, etc.).
- Los paneles no deben ser situados cerca de fuentes contaminantes como chimeneas industriales, calles polvorientas, etc.
- La unidad de control y almacenamiento deben ser situadas adentro o en una caja que soporte todo tipo de clima, se debe pensar en proveer suficiente ventilación para refrigeración de los componentes eléctricos y las baterías.
- Mantener las baterías a una temperatura moderada (10-35 grados Centígrados) para incrementar la vida de los componentes. Evite sitios con luz solar directa.

2.6 Componentes de un sistema de generación solar fotovoltaica conexión a red con almacenamiento

2.6.1 Paneles fotovoltaicos

Los paneles fotovoltaicos son elementos que están formados por células fotovoltaicas que absorben los fotones de la radiación solar y los transforman en una corriente de electrones de forma continua, es decir, en energía eléctrica de señal continua.(Cadenas, 2014b)

a. Las células fotovoltaicas

Una célula fotovoltaica es un diodo elaborado con material semiconductor de color azul oscuro comúnmente con dimensiones aproximadas de 10 cm x 10 cm que producen un voltaje de 0.5 voltios. Las células fotovoltaicas se asocian para formar los paneles que en

su mayoría constan de 36 células idóneas para cargar una batería de 12 v. La célula solar tiene dos partes semiconductoras del tipo N y del tipo P, la tipo N está expuesta a la radiación solar mientras que la tipo P está cubierta por un contacto metálico como se muestra en la figura 6, la luz solar incide sobre la célula y los fotones son captados por el material semiconductor creando pares de cargas libres, la juntura N-P hace que se impulsen los electrones a la unión semiconductor N y los huecos a la unión semiconductor P generando una corriente continua. (Pilco & Jaramillo, 2017)

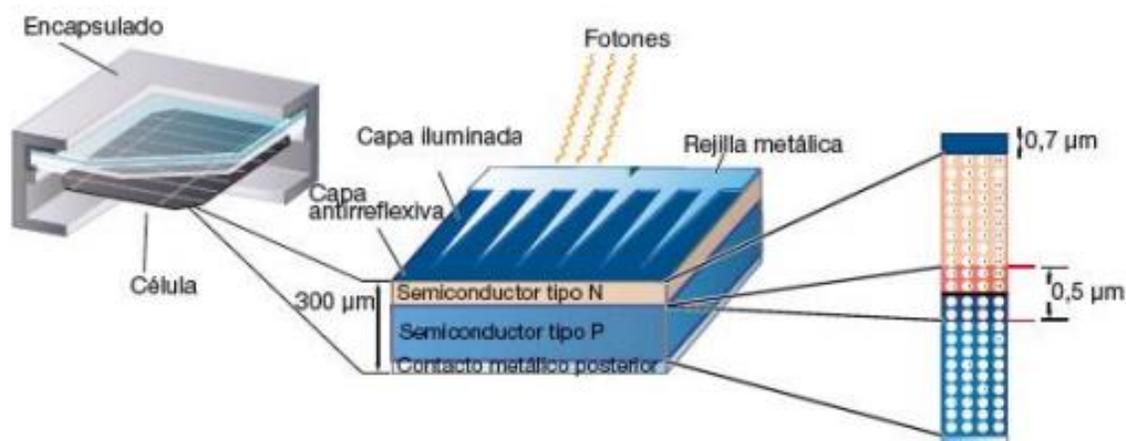


Figura 6. Partes de una célula fotovoltaica

Fuente: (Gstriatum, 2014a)

b. Tipos de células fotovoltaicas

Las células se pueden clasificar en células monocristalinas, policristalinas y amorfas, esto es según el material empleado para su elaboración.

Tabla 1.
Tipos de células fotovoltaicas según su construcción

Célula	Rendimiento	Características	Comparación
 <p>Monocrystalina</p>	14%-17%	Formadas de barras cilíndricas de un solo cristal con silicio de gran pureza.	<p>Ventajas</p> <ul style="list-style-type: none"> • Larga vida útil • Baja degradación de sus propiedades con el tiempo. • Seguros para el medio ambiente. <p>Desventajas</p> <ul style="list-style-type: none"> • Son más caros debido a la complejidad de su proceso de fabricación.
 <p>Policristalina</p>	12%-14%	Fabricadas a partir de un agregado de materiales.	<p>Ventajas</p> <ul style="list-style-type: none"> • Son más económicos de producir que los monocristalinos debido a que son más fáciles de fabricar. • Similar vida útil que los monocristalinos. <p>Desventajas</p> <ul style="list-style-type: none"> • Son menos eficientes que los monocristalinos.
 <p>Si amorfo</p>	5%-6%	Formadas por una pequeña capa de silicio depositada sobre un soporte	<p>Ventajas</p> <ul style="list-style-type: none"> • Son de menor costo. • Se pueden adaptar a superficies curvas. • Gran resistencia al calor. <p>Desventajas</p> <ul style="list-style-type: none"> • Tienen un ciclo de vida más corto y se degradan rápidamente • Son menos eficientes con el pasar del tiempo.

Fuente: (Carreras, 2019)

Según su geometría las células fotovoltaicas se clasifican en redondas y cuadradas, actualmente se elaboran células de geometría cuadrada ya que permiten una mejor compactación entre ellas.

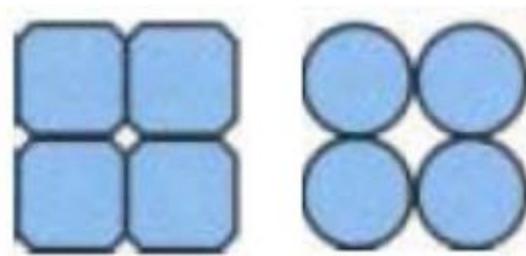


Figura 7. Tipos de células fotovoltaicas según su geometría.

Fuente: (Gstriatum, 2014b)

2.6.2 Inversor Fotovoltaico

El inversor es muy utilizado en instalaciones fotovoltaicas, siendo el encargado de convertir la corriente continua que generan los paneles fotovoltaicos a corriente alterna para alimentar toda la carga eléctrica de una vivienda.

Los inversores fotovoltaicos son dispositivos encargados de gestionar los diferentes tipos de instalaciones fotovoltaicas, en sistemas de generación aislados convierten la corriente continua generada por los paneles para ser luego consumidas directamente por las cargas de corriente alterna, además estos inversores también gestionan la posibilidad de acumular energía en las baterías para ser usadas cuando no exista presencia solar. (Renova Energía, 2019a).

En los sistemas de generación de conexión a red, el inversor convierte la corriente continua en corriente alterna para alimentar las cargas y el excedente lo inyecta hacia la red local con magnitudes establecidas. Un inversor ON/OFF GRID destinado para instalaciones fotovoltaicas de conexión a red con almacenamiento se encarga de gestionar y aprovechar la energía de los paneles fotovoltaicos, la que se acumula en las

baterías y además usa energía de la red cuando los paneles y la batería no abastecen a la carga.

a. Funciones de los inversores fotovoltaicos

Hoy en día se pueden encontrar una amplia variedad de inversores en el mercado con diferentes niveles de voltaje y de potencia y con diferentes modalidades de funcionamiento. En la actualidad las principales funciones de un inversor fotovoltaico son:

- Transformar la corriente continua en alterna con especificaciones propias de la empresa reguladora de electricidad de cada país.
- Modulación de la onda alterna de salida
- Monitorización de datos
- Elementos de seguridad de la parte de corriente continua y alterna.
- Regulación del valor eficaz de la tensión de salida

En la figura 8 se presenta la curva de un panel fotovoltaico. El punto óptimo de un panel se da cuando se interceptan el voltaje con la intensidad.

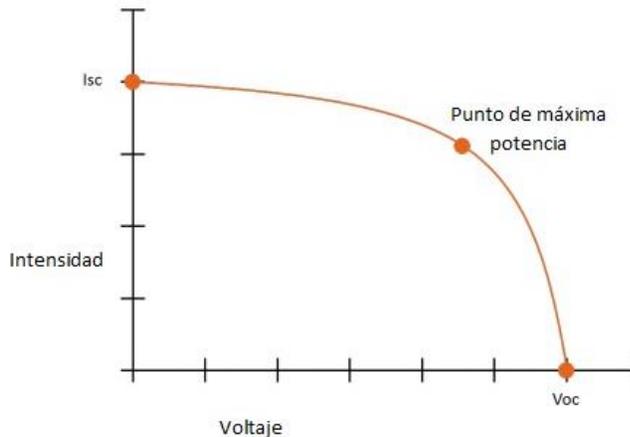


Figura 8. Curva de potencia de un panel solar

Fuente: (Gstriatum, 2014c)

b. Parámetros de operación

Los principales parámetros que caracterizan a un inversor fotovoltaico son la tensión nominal límite que debe aplicarse a la entrada del inversor proveniente de la generación de energía producida por los paneles fotovoltaicos, la potencia nominal que suministra el inversor de forma continua, la potencia activa que suministra el inversor teniendo en cuenta el desfase entre tensión y corriente, la relación entre la potencia de salida y la potencia de entrada del inversor, el THD (Distorsión Armónica Total) que indica el contenido armónico de la onda de tensión de salida del inversor, la regulación de tensión de salida dependiendo de la carga a alimentarse, y la regulación de la frecuencia de salida. (Palomino, 2012)

c. Tipos de inversores fotovoltaicos

c.1 Según su forma de onda

A los inversores se los puede clasificar según la tensión de salida específicamente de acuerdo a la forma de onda, como se muestra a continuación.

- **Los inversores de onda cuadrada** tienen muy poco filtrado, uno de los inconvenientes es que la onda resultante tiene gran contenido de armónicos, cuentan con una distorsión armónica total muy alta, además su regulación de voltaje es muy baja con un rendimiento alrededor del 50% y 60%. Es utilizada para aplicaciones de pequeñas cargas inductivas o resistivas.
- **Los inversores del tipo onda modificada** presentan un rendimiento mucho mayor, del 90% con una distorsión armónica total del 20%. Son utilizados en las zonas rurales para alimentar los equipos eléctricos más comunes, para ciertas cargas como impresoras láser o microondas presentan problemas de operación.
- **Los inversores de onda senoidal** son los más requeridos, son la mejor opción para cargas AC debido a que no presentan ningún problema con la distorsión armónica total o estabilidad de tensión. Los inversores de onda senoidal pura han mejorado mucho los últimos años reduciendo el precio y tamaño.

c.2 Según su aplicación

c.2.1 Autónomos

Se utilizan en instalaciones fotovoltaicas aisladas de la red eléctrica, en donde se requiere la acumulación de energía, son ideales en zonas donde la conexión a la red no es posible.

c.2.2 Conexión a red

Transforman la corriente continua en corriente alterna para poder ser inyectada a la red eléctrica, estos inversores son utilizados en instalaciones fotovoltaicas conectadas a la red.

c.3 De autoconsumo fotovoltaico con baterías

Este tipo de inversores además de transformar la corriente continua en alterna, tienen más características de gestión de energía para poder aprovechar de mejor manera la energía brindada por sol.

Para aplicaciones de autoconsumo fotovoltaico con baterías existen los inversores On-Grid (AC Coupling) y los inversores- cargadores Off-Grid (DC Coupling).

c.3.1 Inversores On-Grid

Los inversores On-Grid brindan una mayor versatilidad a una vivienda debido a que permite alimentar la carga de energía eléctrica proveniente de los módulos fotovoltaicos, la energía acumulada desde las baterías y cuenta con alimentación desde la red eléctrica como apoyo.(QKSOL Energy, 2016a)

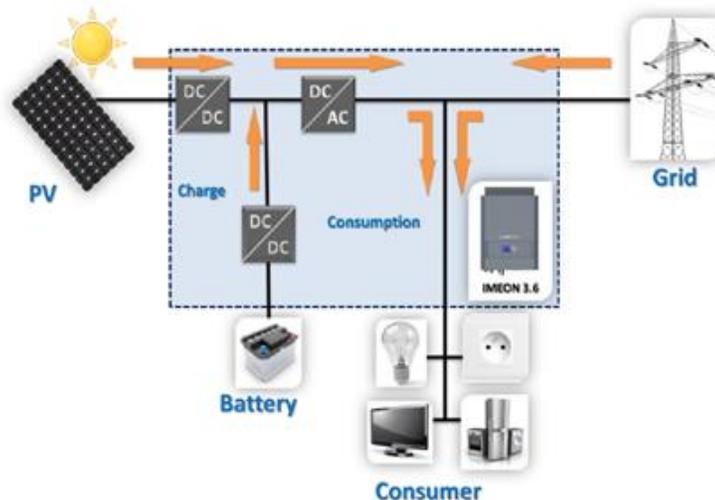


Figura 9. Esquema interno de un inversor On-Grid

Fuente: (QKSOL Energy, 2016b)

La figura 9 describe el modo de trabajo del inversor On Grid, la carga es alimentada de diferentes fuentes de energía, en situaciones cuando el consumo es superior a la energía generada por los paneles, el inversor hace que en ese mismo momento se tome energía de la red local para poder satisfacer la carga, además cuando exista un fallo en la red o en los paneles el inversor hace trabajar a las baterías dotando de energía a la carga.

c.3.2 Inversores Cargadores Off-Grid

Este tipo de inversores trabajan de manera similar que los inversores On-Grid, gestiona diferentes fuentes de energía para alimentar la carga, pero tiene ciertas limitaciones en cuanto al aprovechamiento de energía.

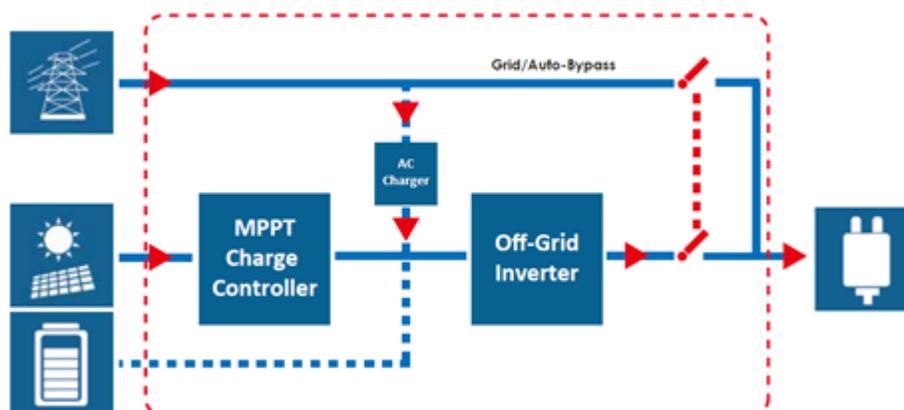


Figura 10. Esquema interno de un inversor Off-Grid

Fuente: (QKSOL Energy, 2016c)

La figura 10 describe el modo de alimentar a la carga, la carga puede ser alimentada de la energía proveniente de los paneles, baterías y de la red, pero a diferencia de los inversores On-Grid este inversor cuenta con un bypass interno, que en situaciones cuando el consumo es mayor que la energía generada por los paneles solares aproveche la energía de la red, pero no trabaja en conjunto con la generada por los paneles, por tal motivo se menciona que se reduce notablemente el aprovechamiento solar disponible. (QKSOL Energy, 2016d)

c.3.3 Comparaciones entre los inversores On-Grid y Off-Grid.

Tabla 2.

Inversores On-Grid y Off-Grid

Inversor On Grid	Inversor Off Grid
<p>La energía de los paneles es aprovechada para alimentar las cargas (prioridad) y a las baterías. El excedente es posible inyectarlo a red. Si se desea se puede configurar para que no inyecte, según normativa local.</p>	<p>La energía de los paneles es aprovechada para alimentar las cargas (prioridad) y a las baterías. El excedente no se puede inyectar a red y no se aprovecha</p>
<p>El inversor híbrido alimenta las cargas desde la instalación solar y desde la red. Si las cargas son superiores a la potencia solar entonces la energía restante, y sólo la restante, para cubrir el consumo es aportada por la red.</p>	<p>El inversor Off Grid únicamente permite alimentar las cargas desde la red, desaprovechando la energía generada en los paneles solares. Esta energía únicamente se puede aprovechar si las baterías están descargadas.</p>

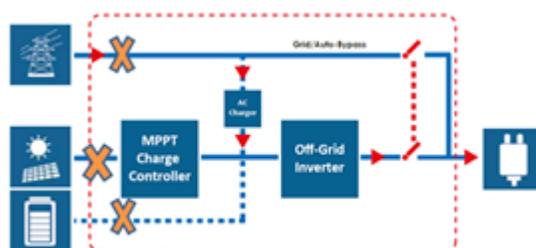
CONTINÚA



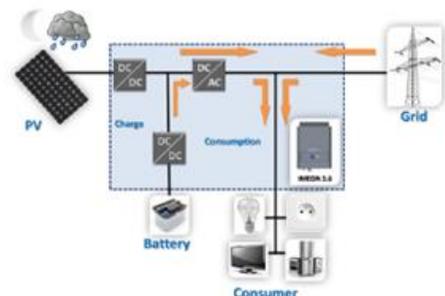
El inversor Híbrido utiliza la energía generada en los paneles para inyectarla a la red eléctrica o a otros consumos.



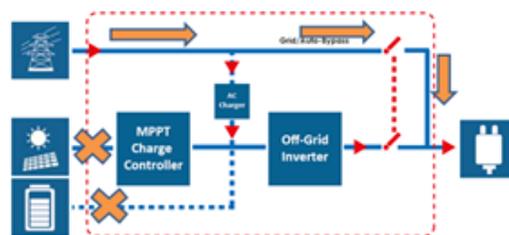
El inversor Híbrido utiliza la energía generada en los paneles para inyectarla a la red eléctrica o a otros consumos.



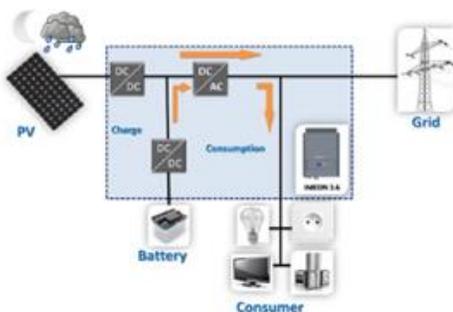
El inversor Híbrido utiliza la energía almacenada en las baterías para alimentar parcialmente a los consumos. La red eléctrica aporta la potencia restante para alimentar las cargas.



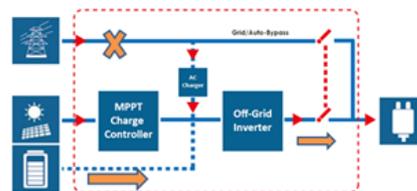
El inversor Off Grid únicamente alimentará las cargas con la red eléctrica. No es posible aprovechar la energía almacenada en las baterías.



El inversor Híbrido utiliza la energía almacenada en las baterías para alimentar totalmente a los consumos



El inversor Off Grid puede alimentar el consumo con la energía almacenada en las baterías siempre y cuando no sea mayor la potencia consumida. En ese caso todo se alimentará desde la red eléctrica.



2.6.3 Baterías de acumulación

Los sistemas de generación fotovoltaica aislada y de conexión a red con almacenamiento necesitan de un sistema de acumulación de energía que es el que se encarga de almacenar la energía eléctrica producida por los paneles fotovoltaicos para ser utilizados en momentos oportunos. Las instalaciones fotovoltaicas cuentan como sistemas de acumulación de energía a las baterías eléctricas, el número de baterías a utilizarse depende de la capacidad total que se requiera acumular y de la tensión de servicio.

Las baterías almacenan energía en forma química, la energía química se transforma en energía eléctrica cuando se conectan a un circuito eléctrico. Las baterías están compuestas por un número de celdas electroquímicas, cada celda está compuesta de un electrodo positivo y un electrodo negativo además de un separador. (Renova Energía, 2019b)

a. Principio de funcionamiento

El principio de funcionamiento de una batería tiene dos ciclos, uno de carga y otro de descarga.

- **Carga.** La energía que es producida por los paneles fotovoltaicos ingresa a las baterías, dentro de esta circula corriente eléctrica, que al no ser aprovechada se acumula en forma de tensión por medio de dos polos.

En la figura 11 se muestra el proceso de carga de una batería, en donde se fuerza mediante la alimentación de energía eléctrica, de manera que el elemento alcance un nivel de energía más alto tras la carga. (Bosch, 2000a)

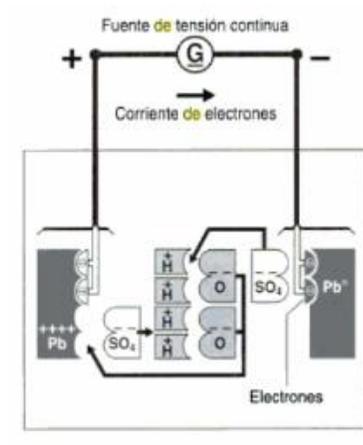


Figura 11. Carga de una batería

Fuente: (Bosch, 2000b)

- **Descarga.** La energía que alimentará a la carga cuando se cierre el circuito con la batería, en el momento que se entra en contacto con los polos se descargará la tensión y fluirá un corriente hacia la carga.

En la figura 12 se muestra el proceso electro-químico de una batería para el flujo de descarga.

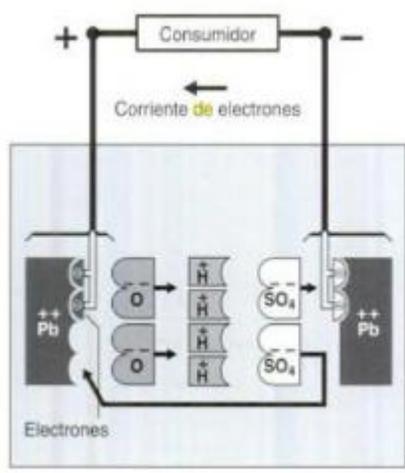


Figura 12. Descarga de una batería

Fuente: (Bosch, 2000c)

b. Baterías de plomo

Las baterías más comunes para instalaciones fotovoltaicas son baterías a base de plomo debido a su buena relación del precio por energía disponible. (Berg, 2019a)

En aplicaciones de instalaciones fotovoltaicas las baterías deben entregar energía sobre un tiempo largo y frecuentemente se descargan a niveles más bajos. Comúnmente las baterías de plomo son grandes y pesadas, debido a las capas de plomo gruesas que garantizan sobre otras una prolongación de vida aun mayor, estas son del tipo ciclo profundo compuestas de 2 voltios nominales que se juntan para lograr baterías de 6v, 12v o más, dependiendo del tipo de aplicación. (Berg, 2019b). En la figura 13 se observa las partes internas de una batería de plomo.



Figura 13. Composición interna de una batería de plomo

Fuente: (Berg, 2019c)

Las baterías de plomo se clasifican en dos tipos:

- **Baterías Líquidas.** Dentro de las ventajas que poseen este tipo de baterías es que son comercializadas a precios económicos, y además son menos problemáticas cuando se sobrecargan. Existen en versión abierta con tapas para poder sustituir el agua y la versión libre de mantenimiento que poseen válvulas para expulsar gases durante cargas excesivas. Los inconvenientes que tienen estas baterías es que puede escapar el hidrógeno, es necesario un control del nivel de agua, existe el peligro de perder el muy agresivo ácido y tiene una corta vida útil de 400 ciclos de carga/descarga. Es importante además que estas baterías cuenten con adecuada ventilación y no estar expuesto a temperaturas bajo cero.(Berg, 2019d)
- **Baterías tipo VRLA (Valve Regulated Lead Acid battery).** Estas baterías son completamente selladas, pero cuentan con la tecnología de recombinar el oxígeno e hidrógeno que sale de las placas durante la carga y así eliminan la pérdida de agua si no son sobrecargadas. Las del tipo VRLA pueden ser de consistencia de Gel y los

AGM (absorbed glass mat), estas baterías pueden ser utilizadas en bajas temperaturas.(Berg, 2019e)

- **Baterías de Gel.** El ácido de estas baterías tiene la forma de gel, tiene la gran ventaja de que al ser selladas no hay líquido que perder y se las puede ubicar en cualquier posición. La corrosión es reducida y son muy resistentes a bajas temperaturas. Estas baterías son la de menor afectación cuando se produce una descarga profunda y por ende tiene una mayor vida útil sobre las baterías líquidas u otras. Son muy utilizadas en la industria y en telecomunicación, pero tiene el inconveniente de tener una resistencia interna poco más alta que reduce el flujo máximo de la corriente, además son más delicadas al momento de ser cargadas y tiene un precio mayor sobre otro tipo de baterías.(Berg, 2019f)
- **Baterías tipo AGM (Absortion Glass Mat):** Llamadas también baterías secas debido a la poca cantidad de ácido que contienen, el ácido está fijado en fibras de vidrio. Estas baterías cuentan con una alta resistencia en climas fríos, su auto descarga sobre el tiempo es mínimo y tiene la mejor eficiencia de todas las baterías de plomo del 95%, y además tienen una baja resistencia interna que permite corrientes altas. Como adversidades es que tienen un precio alto y que la vida útil puede variar considerablemente según la calidad. (Berg, 2019g)

c. Características eléctricas de las baterías

- **Rendimiento.** Es la relación que existen entre la descarga de energía que suministra durante un proceso y la energía necesaria para volver a ser cargada.(Mateo, 2015a)

- **Vida útil.** Viene determinado por la capacidad de ciclos de carga y descarga que puede desarrollar una batería. (Mateo, 2015b)
- **Capacidad.** Es la cantidad de energía que es capaz de entregar cuando se descarga, viene dado en amperios-hora (Ah) debido a que la batería se descarga según la rapidez con la que se produzca el ciclo.

Una batería eléctrica entrega diferentes intensidades en función del tiempo de descarga, por lo que a mayor tiempo de descarga la batería entrega más energía, y a un menor tiempo entrega menor energía. Para aplicaciones solares la nomenclatura de las baterías viene dada por C₁₀ o bien C₁₀₀, por ejemplo, una batería específica de 450 Ah C₁₀ indica que en 10 horas ofrece 45 A al su usuario.

- **Tensión nominal.** Los valores de la tensión eléctrica de la batería suelen ser de 2v, 6v, 12v...La tensión de salida de una batería depende del estado de carga y de la temperatura. (Mateo, 2015c)
- **Autodescarga.** Es la pérdida de energía cuando las baterías no alimentan a ninguna carga, es decir, en circuito abierto. (Mateo, 2015d)
- **Profundidad de descarga.** Es la cantidad de energía extraída de una batería durante una descarga respecto a su capacidad a plena carga, expresada en tanto por ciento. (Mateo, 2015e)

2.7 Dimensionamiento de un sistema de generación solar fotovoltaico

2.7.1 Cálculo de la demanda energética

Para poder dimensionar los diferentes componentes de una instalación fotovoltaica, partimos desde la capacidad instalada de una entidad, se toma como base la demanda energética de una vivienda común en el Ecuador.

Se debe conocer la capacidad instalada, que es la suma del número de equipos multiplicada por la potencia de cada uno, para luego determinar la demanda energética total de la vivienda. (NEC, 2011) . La ecuación 1 determina la capacidad nominal instalada del sistema fotovoltaico y a su vez determina la capacidad instalada del inversor a utilizarse.

$$\text{Capacidad nominal instalada} = \frac{\sum_{i=\text{mes}1}^{\text{mes}12} \text{Emensual}_i(\text{kWh})}{\text{Factor planta diseño} * 8760(\text{h})} (\text{kW}) \quad \text{Ec. (1)}$$

Donde:

Emensual: Demanda del consumo de energía mensual del usuario

Factor planta de diseño: Es la relación de las horas sol pico sobre las horas totales de un día. (HSP/24h)

2.7.2 Estimación del rendimiento global del sistema

Se realiza el cálculo del rendimiento por funcionamiento a temperaturas diferentes, se asume que la radiación instantánea es de 1000 W/m². (NEC, 2011)

$$n_{\text{temp}} = 1 - C_T(T_c - 25) \quad \text{Ec. (2)}$$

$$T_c = T_a + 1,25(\text{NOCT} - 20) \quad \text{Ec. (3)}$$

$$C_T = \Delta I_{\text{SC},T} \Delta V_{\text{OC},T} \quad \text{Ec. (4)}$$

Donde:

n_{temp} = rendimiento por funcionamiento a temperaturas diferentes

T_c = temperatura de la celda

T_a = temperatura ambiente

NOCT = temperatura de operación nominal de célula

C_T = Coeficiente de variación de la potencia por funcionamiento a temperaturas diferentes de los estándares de prueba.

Con la ecuación 5 se puede calcular el voltaje de circuito abierto de cada panel cuando está en condiciones de temperatura diferente de 25°C.

$$V_{\text{OC}(x^\circ\text{C})} = V_{\text{OC}(25^\circ\text{C})} + \Delta T \cdot \Delta V_{\text{OC}(T)} \quad \text{Ec. (5)}$$

Donde:

$V_{OC(X^{\circ}C)}$ = tensión a circuito abierto del panel a una temperatura de célula

$V_{OC(25^{\circ}C)}$ = tensión a circuito abierto del panel en condiciones estándar de medida

ΔT = variación de la temperatura de trabajo del panel y las condiciones estándar de medida

$\Delta V_{OC(T)}$ = coeficiente de temperatura de la tensión de circuito abierto del panel

Mediante la ecuación 6 se calcula la corriente de cortocircuito de los módulos solares cuando está en condiciones diferentes de 25°C. Se incluye el coeficiente de temperatura proporcionado por las características técnicas del panel

$$I_{SC(X^{\circ}C)} = I_{SC(25^{\circ}C)} + \Delta T \cdot \Delta I_{SC(T)} \quad \text{Ec. (6)}$$

Donde:

$I_{SC(X^{\circ}C)}$ = corriente de cortocircuito del panel a una Temp. de célula X

$I_{SC(25^{\circ}C)}$ = corriente de cortocircuito del panel en condiciones estándar de medida

$\Delta I_{SC(T)}$ = coeficiente de temp. de la corriente de cortocircuito del panel

2.7.3 Capacidad del banco de baterías

La capacidad de las baterías de acumulación se calcula con la siguiente fórmula:

$$C_{bat} = \frac{\text{Demanda energética} * \text{días de autonomía}}{PdD * \text{Voltaje del sistema}} \quad \text{Ec. (7)}$$

Donde el voltaje debe ser múltiplo de 12 V y la capacidad de la batería viene dada por amperios-hora (Ah). (NEC, 2011) Estudios realizados por (Luthander et al., 2015b) consideran que es posible aumentar el autoconsumo relativo en un 13-14% con una capacidad de almacenamiento de la batería de 0,5-1 kWh por KW instalado.

2.8 Medidor bidireccional

Los medidores o contadores bidireccionales son muy usados en sistemas de generación de energías renovables, debido a que estos aparatos proporcionan información acerca de la energía que se consume de la red y la energía que se inyecta proveniente de los excedentes del sistema de generación. En la figura 14 se muestra que los sistemas renovables soportan un flujo de energía bidireccional, que van desde las grandes centrales de generación hacia los usuarios y que además son capaces de suministrar la energía sobrante a la red, para obtener una bonificación de acuerdo a lo establecido por la ley, todos estos flujos de energía son cuantificados por un medidor bidireccional.(Andrade & Hernández, 2011a)

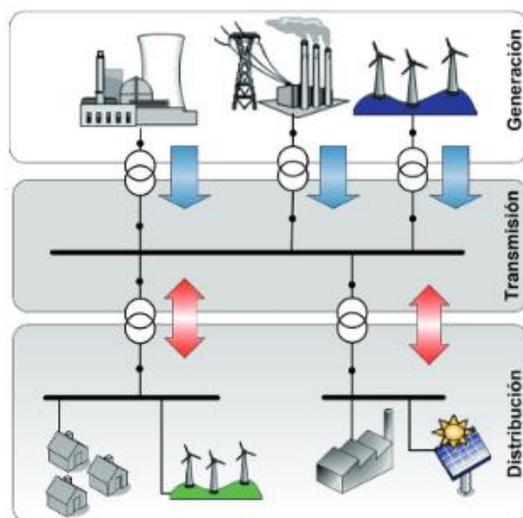


Figura 14. Flujo de energía eléctrica entre los sistemas tradicionales y los sistemas renovables.

Fuente: (Andrade & Hernández, 2011b)

El medidor bidireccional contabiliza la energía que una vivienda, edificio o empresa consume de la red y la resta de la energía fotovoltaica generada y aportada hacia la red, una vez realizado el ajuste final se puede evidenciar el ahorro que se puede generar mediante un análisis energético.

El medidor o contador bidireccional de energía registra de manera exacta la energía que extraemos de la red eléctrica local (durante la noche o cuando en el día exista una demanda muy alta) y la energía que se inyecta a la red eléctrica (cuando lo que se genera es inferior al consumo)

La figura 15 se muestra el flujo que toma la energía eléctrica al contar con un sistema de generación fotovoltaico, el contador bidireccional contabiliza la energía que entra y sale, CFE (Comisión Federal de Electricidad de México) representa la red eléctrica.



Figura 15. Medidor bidireccional

Fuente: (Comisión Federal de Electricidad, 2008)

2.9 Monitoreo de datos

Un sistema de monitoreo de datos permite conocer el estado en el que se encuentra una instalación, obteniendo información de manera rápida y eficaz ante efectos adversos que se produzcan, además se garantiza que se cumplan los objetivos de diseño, monitoreando y controlando las variables críticas, de esta forma es posible diagnosticar remotamente los sistemas de generación fotovoltaica, reduciendo los tiempos y costos de soporte y mantenimiento, con el fin de brindar seguridad, disponibilidad, versatilidad, economía, robustez y confiabilidad a todos los usuarios de estas fuentes de energía alternativa. (Figuroa, C et al., 2017)

La función principal de un sistema de monitoreo es la de medir y administrar la energía consumida por los usuarios de los sistemas fotovoltaicos, proporcionando información necesaria que permite a sus propietarios mantener, operar y controlar, evitando indeseadas interrupciones en el suministro eléctrico. (Manzano, Peña, Ortiz, & Guevara, 2014)

La representación mostrada en la figura 16 muestra la vigilancia de los procesos de un sistema a través de computadoras, equipos electrónicos interconectados que permite mantener a condiciones normales para que no ocurra ninguna alteración en el proceso.



Figura 16. Esquema de un sistema de monitoreo

Teniendo en cuenta que el monitoreo de datos es fundamental para poder administrar la energía en un sistema de generación de una forma eficaz, debe ser capaz de cumplir con ciertos requerimientos: (Electroindustria, 2008)

- Monitorear la corriente, tensión y el factor de potencia de un sistema.
- Adquisición en tiempo real de datos de los dispositivos y almacenamiento de los registros de datos
- Cortar selectivamente las cargas eléctricas en tiempo real para proteger de una sobrecarga a los equipos
- Usar la gestión de la demanda para sustituir y reubicar equipos de reserva para el crecimiento de la base de la demanda.
- Identificar fallas en el sistema.

- Responder a condiciones de falla
- Alcanzar las metas de eficiencia energética y de impacto ambiental.
(Electroindustria, 2008)

2.10 Dispositivos de seguridad

2.10.1 Protecciones del sistema de generación solar fotovoltaica

a. Especificaciones para instalaciones fotovoltaicas

- Los sistemas fotovoltaicos con tensiones nominales superiores a 48 V deben estar conectados a tierra, como mínimo la estructura de soporte de los paneles y los marcos metálicos de los módulos.
- Garantizar la protección de las personas frente a contactos directos e indirectos.
- El sistema fotovoltaico debe tener protecciones frente a cortocircuitos, sobrecargas y sobretensiones.
- Se debe proteger a la batería de acumulación frente a cortocircuitos. (Idae, 2009)

b. Implantación de protecciones de seguridad para instalaciones de baja tensión

- **Toma de tierra:** Los soportes de los paneles deben estar aterrizados.
- **Contacto Directo.** Contacto con las partes activas.
- **Contactos Indirectos.** Entra en contacto con partes que no corresponden al circuito eléctrico
- **Diferencial.** El interruptor diferencial desconecta la instalación antes de que la corriente diferencial residual, llamadas así por ser la diferencia entre todas las

corrientes entrantes y salientes de la instalación receptora pueda resultar peligrosa (Instalectra, 2016)

La intensidad nominal es el calibre que puede soportar dependiendo de las dimensiones de los contactos principales, la sensibilidad de un diferencial es el valor de la menor corriente diferencial derivada a tierra la que garantiza la apertura del circuito. Generalmente son de $I_{\Delta N} = 0,03 - 0,1 - 0,3 - 0,5 - 1,0 A$. (Instalectra, 2016)

Para el caso de interruptores diferenciales generales deben de cumplir la desconexión en los valores de las intensidades diferenciales:

- Para $1xI_{\Delta N}$: Desconexión en menos de 0,20 s
- Para $2xI_{\Delta N}$: Desconexión en menos de 0,10 s

Y para los de alta sensibilidad $I_{\Delta N} \leq 0,03 A$ deben cumplir también:

- Para $10xI_{\Delta N}$: Desconexión en menos de 0,04 s

Además, el fabricante garantiza el no disparo del diferencial para valores de fuga inferiores a esa corriente. Suele ser la mitad de la corriente diferencial de disparo.

- Para $0,5xI_{\Delta N}$: No desconexión

En la figura 17 se muestra un interruptor de protección diferencial de carril DIN Acti 9 de hasta 100 A.



Figura 17. Interruptor diferencial

Fuente: (Instalectra, 2016)

- **Sobrecargas.** Esta situación puede darse si se aumenta el número de paneles solares sin consultar la ficha técnica del inversor, este panorama es poco probable dado que el número de paneles solares está determinado según la potencia máxima del inversor.
- **Sobrecargas, cortocircuitos:** fusibles y magnetotérmicos (PÍAs).
- **Sobretensiones** red (por tormentas, etc.): varistores (en los paneles). (Guerrero, 2017)

2.10.2. Protecciones del inversor fotovoltaico

Por lo general los inversores tienen sus propias protecciones internas que aseguran su buen funcionamiento cuando. Comúnmente cuentan con las siguientes protecciones:

- **Protección contra sobrecargas y cortocircuitos;** sirven para detectar posibles fallos producidos en los terminales de entrada o salida del inversor.

- **Protección contra calentamiento excesivo;** si la temperatura del inversor sobrepasa un determinado valor umbral, el equipo deberá pararse y mantenerse desconectado hasta alcanzar una temperatura inferior.
- **Protección de funcionamiento modo isla;** para desconectar el inversor en caso de que los valores de tensión y frecuencia de red estén por fuera de unos valores umbral para un funcionamiento adecuado al estar funcionando sin apoyo de la red.
- **Protección de aislamiento;** sirve para detectar posibles fallos de aislamiento en el inversor. (Cambio Energético, 2014)
- **Protección contra inversiones de polaridad en la entrada solar.** Puede darse al conectar de forma errónea las salidas de los módulos solares en el inversor, este detectará el fallo y dará una alarma de inversión de polaridad, esto no incurrirá en algún fallo dentro del funcionamiento normal del mismo así como tampoco afectará su vida útil. (Inieco, 2011)
- **Protección contra inversiones de polaridad de la entrada de batería.** Al incurrir en este tipo de falla, el fusible interno del inversor tiende a destruirse, se deberá cambiar la polaridad de las salidas de la batería que llegan al inversor y proceder a cambiar de fusible. (Inieco, 2011)

2.11 Autoconsumo

El autoconsumo consiste en generar nuestra propia energía eléctrica para consumo propio.

2.11.1 Modalidades del autoconsumo

- **Sin excedentes.** Cuando se impide la aportación de energía eléctrica a la red local por medio de algún mecanismo.
- **Con excedentes.** Los excedentes de energía eléctrica son vertidos a la red local.

2.11.2 Autoconsumo fotovoltaico

Aumentar el autoconsumo es lo ideal para aquellas personas que cuentan con su propia instalación fotovoltaica para hacer uso de esa energía y consumirla residencialmente, las instalaciones de autoconsumo pueden estar aisladas, conectadas a la red, pero se pueden añadir tecnologías para poder mejorar el autoconsumo, como apoyarse en sistemas de almacenamiento o la técnica de desplazamiento de carga. (Luthander et al., 2015c)

En la figura 18 se muestra un esquema de los perfiles de potencia de generación del sistema fotovoltaico y del consumo de energía. El área A representa la demanda de la carga, el área B la generación total de electricidad y el área superpuesta C se lo conoce como autoconsumo absoluto, que es la energía fotovoltaica utilizada directamente dentro de una residencia, edificio, etc. (Luthander et al., 2015d)

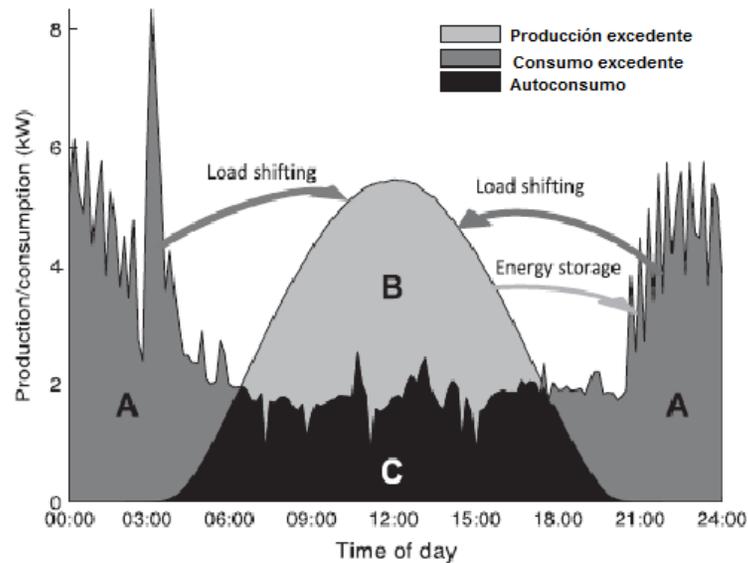


Figura 18. Esquema de la carga neta diaria (A+C), la generación neta (B+C) y el autoconsumo absoluto C.

Fuente: (Luthander et al., 2015e)

El autoconsumo viene dado por la parte consumida en relación con la producción total como se describe en la ecuación 8.

$$\text{AUTOCONSUMO} = \frac{C}{B+C} \quad \text{Ec. (8)}$$

Y también se define como autosuficiencia a la parte autoconsumida en relación con la carga:

$$\text{AUTOSUFICIENCIA} = \frac{C}{A+C} \quad \text{Ec. (9)}$$

En donde:

A + C: es la carga neta

B + C: es la generación neta

C: autoconsumo absoluto

La relación que existe entre el autoconsumo y la autosuficiencia viene dada por la Ecuación 10.

$$\frac{\text{AUTOCONSUMO}}{\text{AUTOSUFICIENCIA}} = \frac{\int_{t=t_1}^{t_2} L(t)dt}{\int_{t=t_1}^{t_2} P(t)dt} \quad \text{Ec. (10)}$$

Donde:

L (t): consumo de energía de una instalación (casa, edificio, etc.)

P (t): generación de energía fotovoltaica

2.11.3 Opciones para mejorar el autoconsumo

Para aumentar el autoconsumo de una vivienda se utiliza tecnologías como el almacenamiento de energía y la gestión de la carga o a su vez se puede combinar estas dos tecnologías para un mayor aumento.

- **Gestión de la demanda.** Tiene que ver con mejorar el sistema energético del lado de consumo, desplazando las cargas, que es cambiar sus demandas de potencias, por ejemplo, en los periodos con mayor interacción con la red eléctrica pueden ser disminuidos con la intervención de generación fotovoltaica cuando el sol este brillando.

- **Almacenamiento.** La acumulación de energía ya sea en la tecnología de hidrógeno o en almacenamiento de baterías. Para aplicaciones residenciales se recomienda las baterías debido a que tienen un alta eficiencia y son adecuadas para equilibrar fluctuaciones diarias.(Luthander et al., 2015f)

2.12 Hipótesis

Con el diseño e implementación de un sistema fotovoltaico de conexión a red con almacenamiento se podrá cuantificar el ahorro generado mediante la obtención de datos energéticos en tiempo real del sistema.

2.13 Variables de la investigación

Variable independiente: Diseño e implementación de un sistema fotovoltaico de conexión a red con almacenamiento

Variable dependiente: Cuantificar el ahorro energético generado por el sistema fotovoltaico mediante la obtención de datos en tiempo real del sistema.

En la Tabla 3 se detalla la operacionalización de la variable independiente.

Tabla 3.
Operacionalización de la variable independiente

Variable	Definición conceptual	Dimensiones	Indicadores
Diseño e implementación de un sistema fotovoltaico de conexión a red con almacenamiento	El diseño e implementación de un sistema fotovoltaico nos permite cubrir el consumo de energía de demanda de un hogar, además apoyándose con baterías de acumulación y la conexión de la red para tener un sistema más confiable obteniendo un ahorro energético.	<ul style="list-style-type: none"> • Investigar y seleccionar los equipos que conforman el sistema 	<ul style="list-style-type: none"> • Paneles Solares • Inversor • Baterías de acumulación • Medidor Bidireccional (Analizador de carga) • Medidor de energía AC
		<ul style="list-style-type: none"> • Implementación de equipos 	<ul style="list-style-type: none"> • Equipos del sistema fotovoltaico y equipos de medición instalados en lugares específicos
		<ul style="list-style-type: none"> • Operación del sistema 	<ul style="list-style-type: none"> • Visualización de funcionamiento en PC • Medidores de energía
		<ul style="list-style-type: none"> • Registro de Datos energéticos 	<ul style="list-style-type: none"> • Software de monitoreo

En la Tabla 4 se detalla la operacionalización de la variable dependiente

Tabla 4.
Operacionalización de la variable dependiente

Variable	Definición conceptual	Dimensiones	Indicadores
Cuantificar el ahorro energético generado por el sistema fotovoltaico mediante la obtención de datos	La exportación de datos nos permite conocer las mediciones de las variables eléctricas del sistema fotovoltaico para un posterior análisis energético.	<ul style="list-style-type: none"> Rendimiento del sistema fotovoltaico. 	<ul style="list-style-type: none"> Energía solar de entrada al sistema fotovoltaico Energía entregada por el sistema fotovoltaico.
		<ul style="list-style-type: none"> Balance de potencias del sistema. 	<ul style="list-style-type: none"> Potencia del sistema fotovoltaico. Potencia de la red eléctrica. Potencia de la carga. Potencia en baterías. Potencia del inversor.
		<ul style="list-style-type: none"> Energía excedente. 	<ul style="list-style-type: none"> Energía aportada a la red eléctrica. Energía de carga de baterías.

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1 Antecedentes investigativos

Las energías renovables cada año están presentes en más países donde se concientiza el problema que existente con la naturaleza, ya que por lo general la energía tradicional se obtiene del carbón, del petróleo y del gas, pero no se renuevan y con el pasar del tiempo cada vez se van agotando. La solución es aprovechar otras fuentes de energía que son inagotables como el viento, sol, residuos, etc. que son amigables con el medio ambiente y representan una gran ventaja fomentando el ahorro energético. (Agora, 2014)

A nivel mundial el uso de la energía solar ha ido creciendo considerablemente debido a sus avances tecnológicos, permitiéndose así disminuir los costos para instalar un sistema fotovoltaico. China es una de los países pioneros en producción de energía solar, cuenta con alrededor de 500 empresas solares y las instalaciones de energía fotovoltaica logran una potencia aproximadamente de 130 GW, además es el creador de la planta solar más grande del mundo denominada “La Gran Muralla China del Sol”. (Anny, 2019)

Las configuraciones de los sistemas fotovoltaicos pueden ir desde sistemas simples hasta aquellos sistemas centralizados, dependiendo del tipo de aplicación. En varios países donde existe una alta radiación solar, los usuarios residenciales optan por generar su propia energía, y es ahí donde emplean sistemas fotovoltaicos para satisfacer el consumo de la carga, pero deben afrontar los periodos en donde la generación es inferior al consumo. Los sistemas fotovoltaicos que se apoyan de otras fuentes de energía y

aquellos que acumulan energía son ideales para garantizar de suministro eléctrico a la carga, están compuestos por los módulos, baterías, inversor, conexión a la red, sistemas de monitoreo, etc. (Lamigueiro, 2013)

Un sistema fotovoltaico que cuenta con conexión a la red y acumulación de energía, da al sistema mayor confiabilidad y se asegura de cubrir la demanda de energía, como lo menciona (Raboso, 2012) en su tesis en donde especifica que “la elección de la configuración del sistema FV con baterías y conexión a red fue la solución al problema planteado ya que presentaba un consumo de energía muy elevado del bombeo de agua para su almacenamiento”. Por otra parte, a nivel residencial, si se cuenta con un sistema fotovoltaico destacando la acumulación de energía (EcoInventos, 2018) nos dice que “las baterías forman el núcleo central. Así, los paneles transfieren a estos equipos la energía y, desde ahí, esta pasaría al inversor. Este enlazaría con la red y, también, con un sistema secundario para el suministro de energía a los equipos básicos de la vivienda, de manera independiente y, con ello, asegurar ante cualquier apagón.”

Además, cabe decir que este tipo de sistemas fotovoltaicos tienen una peculiaridad, según (Mesa, Escobar, & Hincapie, 2009) “tienen una vida útil promedio de 20 años y en ese tiempo la inversión se ha recuperado fácilmente. Cuando el sistema es de generación con venta a la red, la inversión se recupera más rápido con la ayuda de bonos de CO₂ y leyes nacionales.”

3.2 Modalidad de la investigación

Para definir el presente proyecto se hace uso de las modalidades de investigación las cuales permitirán obtener óptimos resultados para diseñar e implementar el sistema de generación fotovoltaica de conexión a red con almacenamiento, iniciando con una investigación bibliográfica para tener una visión general de los sistemas existentes en el mundo, para luego determinar los requerimientos necesarios del sistema y comenzar a diseñar e implementar, para finalmente evaluar el rendimiento del sistema fotovoltaico.

3.3 Tipo de investigación

3.3.1 Investigación bibliográfica

El proyecto a desarrollarse se inicia con la recopilación de información en materiales bibliográficos, uno de los principales pilares de la investigación son las tesis que presentan características similares al proyecto propuesto que se manejan en el enfoque de instalaciones fotovoltaicas de conexión a red y aquellas que cuentan con acumulación de energía eléctrica, de igual manera con la ayuda de artículos científicos, catálogos, páginas web, y libros de ingeniería, logrando obtener información importante para el diseño y desarrollo del sistema de generación fotovoltaico de conexión a red con almacenamiento.

3.3.2 Campo de investigación

La investigación será desarrollada en el Laboratorio de Fuentes Alternativas de Energía del campus Gnal. Guillermo Rodríguez Lara de la Universidad de las Fuerzas

Armadas ESPE extensión Latacunga que cuenta con suficiente espacio para el desenvolvimiento del proyecto.

3.3.3 Despliegue de la función de la calidad (QFD)

Con el uso del despliegue de la función de la calidad se asegura satisfacer las demandas del usuario, por lo tanto, se procederá a la recolección de información de los requerimientos y necesidades de personas idóneas (usuarios) para poder iniciar con el diseño del sistema de generación fotovoltaico conexión a red con almacenamiento basándose en categorías generales como el desempeño, capacidad, confiabilidad, durabilidad, etc. Se identifican las necesidades más importantes de los usuarios para el llenado de la matriz de planeación en cuanto al nivel de satisfacción que otorgara el sistema fotovoltaico y así poder definir las características de diseño con el que se cubrirán esas necesidades. Para luego tener una definición adecuada de las necesidades y características de diseño y establecer las características técnicas del sistema para la implementación.

3.4 Diseño de la investigación

La investigación está enfocada en el diseño e implementación de un sistema de generación fotovoltaica conexión a red con almacenamiento, tomando como potencia de demanda base la de una vivienda en el Ecuador para dimensionar el sistema con sus respectivos elementos: inversor, módulos fotovoltaicos, baterías, protecciones, etc. Además, se extraerán datos del sistema fotovoltaico para un posterior análisis, con el objetivo de cuantificar el ahorro energético.

3.5 Niveles de la investigación

3.5.1 Exploratoria

Como primer paso se debe investigar la demanda promedio de una vivienda para dimensionar el sistema contando con fuentes de energía de apoyo como la red eléctrica local y la acumulación de energía en baterías para que el sistema sea más confiable y poder cubrir la demanda de carga normalmente y garantizar un ahorro energético frente a los otros tipos de sistemas fotovoltaicos existentes en el Laboratorio de Fuentes Alternativas de Energía.

3.5.2 Descriptiva

Este nivel se usa para el planteamiento de la Hipótesis que surgió del análisis de la exploración, logrando definir los procesos concretos del proyecto como el dimensionamiento e implementación del sistema para cuantificar el ahorro energético existente.

3.5.3 Investigación explicativa

Se busca establecer las causas que se encuentran detrás del proyecto, respondiendo al “por qué” y “para qué” del diseño e implementación del sistema fotovoltaico, basándose en que la radiación solar en la provincia de Cotopaxi es idónea para instalar un sistema fotovoltaico en viviendas, y así realizar el estudio de la demanda de consumo de energía, determinando que el uso de las baterías de acumulación y la conexión a la red

local dan al sistema mayor disponibilidad de abastecimiento de energía a la vivienda generando un ahorro energético cuantificable.

3.6 Población y muestra

A continuación, en la tabla 5 se presentan preguntas básicas las cuales determinan para qué y por qué del proyecto a desarrollarse.

Tabla 5.
Preguntas básicas para la solución de problemas

	Preguntas básicas	Respuestas
1	¿Para qué?	Para cuantificar el ahorro energético y modelo de sistema de aprendizaje
2	¿De qué personas u objetos?	Del sistema de generación fotovoltaica de conexión a red con almacenamiento
3	¿Sobre qué aspecto?	Visualizar y obtener datos
4	¿Quién? ¿Quiénes?	Investigadores
5	¿Cuándo?	2019
6	¿Dónde?	Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE extensión Latacunga
7	¿Cuántas veces?	Una
8	¿Qué técnicas?	Mediciones
9	¿Con qué?	Sistema de monitoreo
10	¿En qué situación?	En condiciones de funcionamiento

3.7 Técnicas de recolección de datos

3.7.1 Observación de laboratorio

Mediante la observación se puede examinar los hechos para ir recompilando datos y poder proyectar un sistema adecuado de trabajo, esto con lleva más a hacer el análisis del efecto sombra que afectaría a los módulos solares, teniendo en cuenta el área donde serían ubicados y la orientación que deben tener para poder sacar el mayor provecho solar y así no tener ningún inconveniente para poder satisfacer la demanda de la carga.

3.7.2 Instrumentos

En primera instancia se debe comprobar que la ciudad de Latacunga cuenta con una radiación apropiada para sistemas fotovoltaicos, midiendo la radiación solar usando la estación meteorológica que se encuentra en el campus Gnal. Guillermo Rodríguez Lara durante un mes.

El sistema fotovoltaico cuenta con tres elementos como fuentes de energía que son: los paneles solares, las baterías de acumulación y la red eléctrica local, estos son gestionados por un inversor que da la prioridad de suministrar de energía a la carga obteniendo un ahorro de energía adecuado, además del inversor se obtienen todos los parámetros necesarios en tiempo real como voltaje, intensidad, frecuencia, potencia, etc. para ser evaluados y cuantificar el ahorro energético con el que se cuenta.

3.7.3 Técnica de análisis de datos

Con los datos que se obtienen del sistema se realiza el análisis frente a otros tipos de sistemas fotovoltaicos y el ahorro que se produce en una vivienda, se puede hacer uso de los siguientes criterios:

- Observación de los elementos
- Recolección de datos
- Evaluación de datos del sistema
- Interpretación de datos

3.7.4 Técnicas de comprobación de Hipótesis

Mediante los datos obtenidos del sistema fotovoltaico se obtiene el monitoreo en tiempo real de las magnitudes eléctricas para su almacenamiento y su posterior evaluación para determinar el ahorro energético.

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN

De acuerdo a las diferentes metodologías utilizadas, en este capítulo se presenta el análisis de la investigación para el desarrollo del proyecto planteado considerando la selección, el diseño y la implementación del sistema de generación fotovoltaica conexión a red con almacenamiento.

Ecuador tiene una poca variación de la posición del sol durante todo el año, ya que en el día hay un promedio de 12 horas de sol, debido a que está atravesado por la Línea Equinoccial (Orellana & Quimis, 2015). Ciudades como Ibarra, Quito y Latacunga cuentan con una alta radiación global solar, lugares convenientes para aprovechar la energía del sol y transformarla en energía eléctrica por medio del uso del sistema de generación fotovoltaico, optando además por soluciones como el apoyo de la red eléctrica local y del uso de baterías para eventos desfavorables garantizando un sistema confiable, brindando al usuario un ahorro energético.

Para el desarrollo del sistema de generación fotovoltaica conexión a red con almacenamiento se acude NEC (Norma Ecuatoriana de la Construcción) Capítulo 14 en donde se establecen las especificaciones y características técnicas para la formulación, diseño, ejecución y tareas relativas al funcionamiento y sostenibilidad de los sistemas fotovoltaicos.

El sitio cuenta con $4800 \text{ Wh/m}^2/\text{día}$ de insolación promedio (NEC, 2011), lugar idóneo para instalar el presente proyecto. El dimensionamiento del sistema fotovoltaico se verá

determinado por la facturación promedio de consumo de energía de un residente tipo B, que está en la escala de 251-350 (kWh/mes/cliente) según los estratos de consumo de la Empresa Eléctrica Quito S.A (EEQ, 2014). En primera instancia se debe determinar la capacidad nominal máxima instalada del sistema con la Ecuación 1, que a su vez especifica la potencia del inversor, esta valoración se considera para los posteriores cálculos que determinaran el dimensionamiento de los equipos restantes (baterías, paneles solares, protecciones eléctricas, etc.).

La instalación de un sistema de generación fotovoltaico de conexión a red con almacenamiento presenta una gran ventaja sobre otros sistemas, debido a que se le da mayor prioridad a la acumulación de energía para no depender demasiado de la red eléctrica. Existen estudios relacionados al proyecto de investigación que enfatizan la importancia de la acumulación de energía, en su paper (Zhang, Campana, & Lundbland, 2017) menciona que “muchos estudios se han centrado en la optimización de la capacidad de almacenamiento ya sea como estrategia de operación” y además aclara que el método de almacenamiento de energía más utilizado es la batería ya que se la considera como una tecnología madura. Por otra parte (Boukebbous & Djallel, 2017) resalta que además un sistema de conexión a red con almacenamiento hace que sea posible la complementación de la energía eléctrica inyectada a la red en los momentos en que la energía fotovoltaica es sobrante en su producción, optando así por la modalidad de suministro eléctrico con “balance neto” que permite verter a la red eléctrica el exceso de consumo producido por un sistema de autoconsumo con la finalidad de poder hacer

uso de este exceso en otro momento tal como lo estipula la regulación Nro. ARCONEL 003/18.

4.1 Análisis de resultados

4.1.1 Mediciones de radiación solar

Mediante el uso de la estación meteorológica que se encuentra instalada en el campus Gnal. Guillermo Rodríguez Lara se obtuvo las mediciones de la radiación solar durante un mes con un intervalo de tiempo de 5 minutos de registro de datos. En la tabla 6 se muestra las mediciones promedio de un día, con estos valores se obtiene la curva típica de irradiancia mostrada en la figura 19.

Tabla 6.

Mediciones realizadas del 14 de mayo del 2019 al 18 de junio del 2019

Hora	Irradiancia Promedio W/m²
1:00:00	0
2:00:00	0
3:00:00	0
4:00:00	0
5:00:00	0
6:00:00	13,231
7:00:00	83,732
8:00:00	171,459
9:00:00	320,5125
10:00:00	432,6625
11:00:00	557,8245
12:00:00	586,091
13:00:00	515,1225
14:00:00	504,8565
15:00:00	422,284
16:00:00	248,745
17:00:00	68,366

CONTINÚA 

18:00:00	1,812
19:00:00	0
20:00:00	0
21:00:00	0
22:00:00	0
23:00:00	0
0:00:00	0

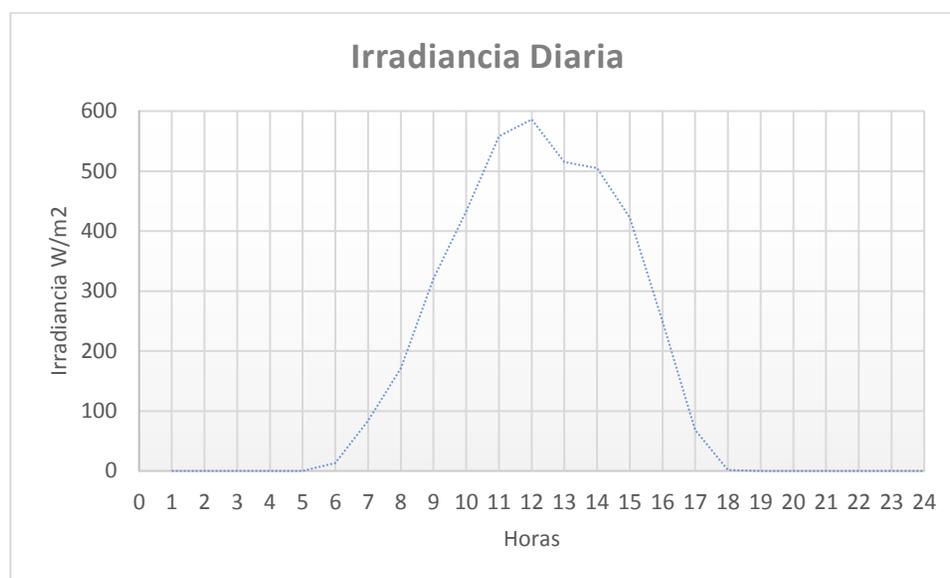


Figura 19. Curva de irradiancia diaria.

A partir de las mediciones realizadas se obtiene una irradiación promedio de **3,92 kWh/m²día** la misma que se aproxima a los valores de irradiación solar promedio de los meses de Mayo y Junio medidos durante un periodo de 10 años por la Nasa en Cotopaxi como se muestra en la Tabla 7.

Tabla 7.*Datos de irradiación solar promedio de 10 años en Cotopaxi*

Mes	Irradiación Solar kWh/m ² día
Enero	3,73
Febrero	3,98
Marzo	4,05
Abril	3,88
Mayo	3,74
Junio	3,47
Julio	3,71
Agosto	3,97
Septiembre	3,98
Octubre	3,77
Noviembre	3,88
Diciembre	3,79
Promedio	3,83

Fuente: LaRC Surface Solar Energy Data Set (SSE)

El valor obtenido da muestra que la provincia de Cotopaxi es un lugar propicio para hacer uso de instalaciones fotovoltaicas, la ubicación en la que se encuentra el Ecuador hace que sea un lugar idóneo para este tipo de aplicaciones ya que existe poco cambio en la posición del sol durante todo el año.

4.1. 2 Demanda de una vivienda

Mediante los estratos de consumo proporcionados por la Empresa Eléctrica Quito se podrá determinar la demanda de un residente tipo B que corresponde a una familia de clase media alta.

Tabla 8.*Estrados de consumo*

Categoría de Estrato de Consumo	Escalas(kW/mes/cliente)
E	0-100
D	101-150
C	151-250
B	251-350
A	351-500
A1	501-900

Fuente: (EEQ, 2014)

El valor de la demanda se encuentra entre 251-350 (kWh/mes/cliente) para posteriormente dimensionar la capacidad del sistema fotovoltaico de conexión a red con almacenamiento y sus demás componentes.

4.2 Casa de la calidad

Se establecen parámetros para poder satisfacer los deseos del usuario con la voz del ingeniero con lo cual se planeará lo que se está buscando en el sistema fotovoltaico para poder obtener las características técnicas requeridas estableciendo la matriz que está constituida por la planificación, selección y la implementación del sistema de generación fotovoltaico conexión a red con almacenamiento.

4.2.1 La voz del usuario

Son los requerimientos que se consideran de los usuarios que contribuirán con el diseño del sistema fotovoltaico.

4.2.2 La voz del ingeniero

Son los requerimientos o necesidades del cliente traducidos en especificaciones técnicas.

4.2.3 Desarrollo de la matriz QFD

En esta matriz se presenta la demanda del usuario en la calidad del diseño relacionadas con las características técnicas para luego determinar el grado de satisfacción.

a. La voz del usuario para el desarrollo del sistema fotovoltaico

Los requerimientos del usuario para el desarrollo del sistema fotovoltaico son los siguientes:

- Los paneles solares deben tener una buena exposición al sol
- De simple mantenimiento y larga vida útil
- Que permita un uso didáctico
- Permitir un efectivo ahorro en la factura de energía eléctrica, de acuerdo a la categoría de estrato tipo B.
- Medir y controlar la generación de energía en tiempo real.
- Las baterías no se carguen con energía proveniente de la red.
- Interfaz gráfica amigable.

b. La voz del ingeniero para el desarrollo del sistema fotovoltaico

Los requerimientos del usuario pueden ser traducidos en un criterio técnico a través de las siguientes características:

- Diseño ergonómico
- La estructura de los paneles debe soportar la fuerza del viento.

- Protección a nivel de los generadores fotovoltaicos.
- Puesta a tierra de los elementos metálicos del sistema fotovoltaico.
- Visualización de variables en PC
- Sistema de almacenamiento de datos
- Entorno gráfico sencillo.

La matriz QFD se presenta en el Anexo 1, donde se establecen las características de diseño para satisfacer las necesidades del usuario como también sus requerimientos técnicos.

4.2.4 Conclusión de la matriz QFD

Para el sistema fotovoltaico conexión a red con almacenamiento, se determinan las características técnicas. A continuación, se detalla los requerimientos más importantes:

- Diseño estructural.
- Buena exposición solar
- Selección de equipos con larga vida útil
- Visualización de datos
- Fácil manipulación.
- Confiabilidad y fiabilidad del proceso.
- Que permita el uso didáctico.

4.2.5 Comprobación de la Hipótesis

Con el objeto de comprobar la Hipótesis establecida en el presente proyecto de investigación se plantea un contraste estadístico para poder determinar si el proyecto resulta ser factible.

a. Hipótesis nula

No es posible cuantificar el ahorro energético generado por el sistema fotovoltaico mediante la obtención de datos en tiempo real del sistema.

b. Hipótesis alternativa

Es posible cuantificar el ahorro energético generado por el sistema fotovoltaico mediante la obtención de datos en tiempo real del sistema.

4.2.6 Estadístico de prueba

Se procede a definir las variables de investigación como se muestra en la Tabla 9

Tabla 9.

Variable de investigación

Variables de investigación	
Variable independiente	Sistema fotovoltaico de conexión a red con almacenamiento
Variable dependiente	Cuantificar el ahorro energético

En la Tabla 10 se presenta un cuestionario de las variables de investigación

Tabla 10.
Cuestionario de las variables de investigación

Variables de investigación	
Variable independiente	Existe un sistema fotovoltaico de conexión a red con almacenamiento
Variable dependiente	Se puede cuantificar el ahorro energético

CAPÍTULO V

PROPUESTA

5.1 Tema de la propuesta

Diseño e implementación de un sistema de generación fotovoltaico conexión a red con almacenamiento para el laboratorio de Fuentes Alternativas de Energía de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE extensión Latacunga.

5.2 Datos Informativos

Nombre de la empresa: Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE extensión Latacunga.

Dirección: Provincia de Cotopaxi, Cantón Latacunga, Av. Quijano y Ordoñez y Hermanas Páez, Laboratorio de Fuentes Alternativas de Energía.

Tipo de Empresa: Educación.

Tamaño de Empresa: Grande.

5.2.1 Beneficiarios

Los alumnos de la Universidad de la Fuerzas Armadas ESPE extensión Latacunga, para realizar prácticas de laboratorio con respecto al autoconsumo y el ahorro energético que puede proporcionar un sistema de generación fotovoltaico de conexión a red con almacenamiento.

5.3 Objetivos

5.3.1 Objetivo General

Diseñar e implementar un sistema fotovoltaico de conexión a red con almacenamiento para el laboratorio de Fuentes Alternativas de Energías de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE extensión Latacunga.

5.3.2 Objetivos Específicos

- Diseñar un sistema de generación fotovoltaica de conexión a red con almacenamiento, con un rango de potencia manejable dentro del laboratorio.
- Implementar el sistema de generación fotovoltaico en el laboratorio de fuentes alternativas de energía.
- Implementar una interfaz de comunicación para extraer los datos proporcionados por el sistema fotovoltaico usando el software Solar Power.
- Cuantificar el ahorro energético a partir de los datos obtenidos del sistema.

5.4 Justificación del problema

Mediante la implementación del sistema de generación fotovoltaico de conexión a red con almacenamiento se podrá registrar, visualizar, analizar y cuantificar el ahorro energético, siendo una principal característica del sistema la autogestión de la energía generada ya que podrá almacenarla en baterías, alimentar las cargas e inyectar el excedente de energía hacia la red.

El proyecto está dispuesto para el desarrollo de prácticas del Laboratorio de energías renovables de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE extensión Latacunga.

5.5 Fundamentación de la propuesta

En este capítulo se detalla el diseño, selección e implementación de un sistema de generación fotovoltaico de conexión a red con almacenamiento cuyos componentes principales son: paneles solares, inversor On/Off Grid y las baterías de acumulación. En el instante que exista disponibilidad de radiación solar los encargados de transformarla en energía eléctrica son los paneles, el inversor se encarga de convertir la corriente continua en alterna para así alimentar la carga, también gestiona la carga de las baterías y la interconexión con la red. Cuando exista un exceso de energía que no es aprovechada por la carga y a su vez las baterías están cargadas en su totalidad, se inyectará a la red el excedente de energía, en el caso que no exista energía suficiente en los paneles solares o almacenada en las baterías para alimentar la carga se tomará energía de la red eléctrica local.

5.6 Diseño de la propuesta

5.6.1 Resumen

A continuación, se describe el esquema para el desarrollo del proyecto.

- **Medición de la radiación solar y demanda de consumo de energía promedio:**

Se constata que el lugar donde se instalará el sistema fotovoltaico cuenta con aceptables niveles de radiación solar y además es necesario conocer el valor del

consumo de demanda de energía de un hogar para poder iniciar con el diseño de la instalación.

- **Selección de equipos:** Considerando la demanda de energía de un hogar se determina la capacidad de potencia instalada del sistema que a su vez establece la potencia del inversor, en base a esta capacidad se selecciona el número de paneles solares necesarios y el número de baterías para almacenar energía, además se selecciona los medidores de energía adecuados y el software que servirán para la obtención de datos del sistema.
- **Comunicación al ordenador:** El sistema fotovoltaico y el computador establecen comunicación vía USB, usando el software Solar Power se podrá monitorear el sistema y dar prioridades de funcionamiento para la gestión de la energía.
- **Obtención de las variables eléctricas:** El software Solar Power permitirá conocer las medidas de funcionamiento del sistema, acompañado de un medidor bidireccional en la red y un medidor de energía en la carga para obtener las todas las variables medibles del sistema.
- **Resultado:** Registro de datos de las mediciones del sistema para realizar un balance de energía.

5.6.2 Arquitectura del proyecto

En la figura 20 se muestra la arquitectura del proyecto donde el inversor es el encargado de gestionar las diferentes fuentes de energía, paneles solares, banco de baterías y red eléctrica para alimentar la carga, el sistema es monitoreado por un

computador y cuenta con dos medidores de energía para la carga y red eléctrica. En el Anexo 2 se muestra el plano eléctrico del sistema.

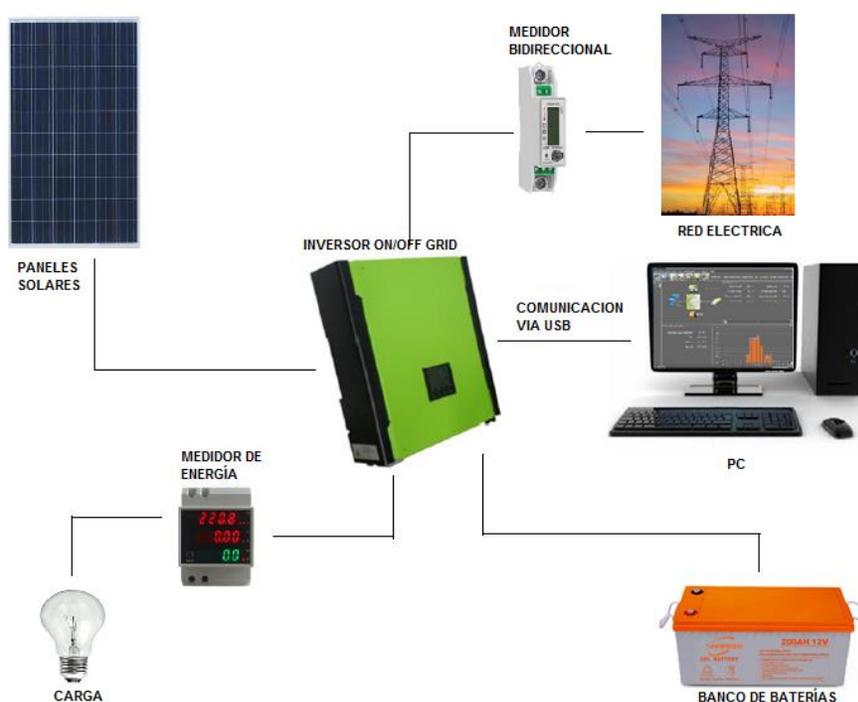


Figura 20. Arquitectura del proyecto

5.7 Criterios de selección.

Los equipos del sistema fotovoltaico se seleccionan de acuerdo a los valores calculados, analizando además sus características técnicas, rango de alimentación, tamaño, rangos de medición, tipo de conexión etc.

5.7.1 Cálculo de potencia instalada

Para dimensionar el sistema de generación fotovoltaica conexión a red con almacenamiento es necesario conocer consumo de energía mensual residencial visto anteriormente en la tabla 8 para calcular la capacidad instalada. Se establece 310 kWh/mes, valor que se encuentra dentro del rango de estratos de consumo tipo B.

$$\text{Capacidad Instalada} = \frac{\sum_{i=\text{mes } 1}^{\text{mes } 12} E_{\text{mensual}_i}(\text{kWh})}{\text{Factor}_{\text{planta de diseño}} * 8760 (\text{h})}$$

$$310 \frac{\text{kWh}}{\text{mes}} * \frac{12 \text{ meses}}{1 \text{ año}} = 3720 \frac{\text{kWh}}{\text{año}}$$

$$\text{Factor}_{\text{planta de diseño}} = \frac{\text{HSP}}{24 \text{ h}}$$

Donde:

HSP: Horas Sol Pico

HSP = 4,7 horas para la ciudad de Latacunga

$$\text{Factor}_{\text{planta de diseño}} = \frac{4,7 \text{ h}}{24 \text{ h}}$$

$$\text{Factor}_{\text{planta de diseño}} = 0,2$$

$$\text{Capacidad Instalada} = \frac{3720 \text{ kWh/año}}{0,2 * 8760 (\text{h})}$$

$$\text{Capacidad Instalada} = 2,12 \text{ kW}$$

a. Cálculo de la potencia del inversor

La potencia del inversor viene dada en función de la capacidad instalada del sistema.

$$P_{inv} = 1,2 \text{ Capacidad Instalada}$$

Donde:

P_{inv} = Potencia del inversor

$$P_{inv} = 1,2(2,12 \text{ kW})$$

$$P_{inv} = 2,54 \text{ kW}$$

b. Selección del inversor On/Off Grid

En el mercado existen inversores de 2, 3, 5, etc. kW, por lo tanto, se elegirá un inversor cuya potencia comercial sea de 3 kW, a continuación, se presentan 2 inversores de diferentes marcas en la tabla 11.

Tabla 11.

Especificaciones técnicas del inversor de los inversores InfiniSolar y Renogen

MARCAS	InfiniSolar	Renogen
GRID-TIED OPERATION		
PV INPUT		
VOLTAJE DC NOMINAL / MÁXIMO VOLTAJE DC	360 VDC / 500 VDC	450 VDC
VOLTAJE DE PUESTA EN MARCHA / VOLTAJE INICIAL DE ALIMENTACIÓN	116 VDC / 150 VDC	
RANGO DE VOLTAJE MPP	250 VDC ~ 450 VDC	220 VDC ~ 430 VDC
CORRIENTE MAXIMA DE ENTRADA	18 A	
GRID OUTPUT (AC)		
VOLTAJE NOMINAL DE SALIDA	208/220/230/240 VAC	220/230/240 VAC

CONTINÚA



CORRIENTE NOMINAL DE SALIDA	13 A	13A
FACTOR DE POTENCIA	>0.99	>0.99
OFF GRID OPERATION		
AC INPUT		
VOLTAJE AC DE PUESTA EN MARCHA	120 – 140 VAC	
RANGO DE VOLTAJE DE ENTRADA	170 ~ 280 VAC	170 ~ 280 VAC
CORRIENTE AC MAXIMA DE ENTRADA		30A
COMUNICACION	USB O RS232	USB O RS232
SLOT INTELIGENTE OPCIONALES	SNMP,MODBUS,AS-400	

c. Justificación de la selección del inversor.

Al ser ambos inversores de 3kW un valor por encima del calculado, se opta por seleccionar el inversor de la marca InfiniSolar (Anexo 3) como se muestra en la figura 21, debido a, que para poner en marcha el inversor necesita al menos que los paneles generen 116 VDC pudiendo funcionar en días nublados mientras tanto el inversor de la otra marca necesita que se llegue al voltaje del punto de máxima potencia para empezar a funcionar.

Además, presenta un rango más amplio en cuanto al voltaje AC de que puede entregar tanto a la carga como a la red y otra de las opciones que presenta este inversor es que cuenta con un slot inteligente, el cual permite implementar una red de comunicación modbus.



Figura 21. Inversor InfiSolar 3kW

Fuente: InfiSolar.com

d. Selección del panel solar

Para proceder a la selección de los paneles solares se necesita que esté entre un rango de voltaje de M_{pp} 250 VDC ~ 450 VDC en el cual trabaja el inversor seleccionado anteriormente y que abastezca la potencia instalada de 2,12 kW, por lo cual se dispone de dos paneles solares con potencias de 270 W y 150 W mostrados en la tabla 12.

Tabla 12.

Opciones de selección de paneles solares.

Marcas	SUNMART	SUNMART
P_{mp}	270 W	150 W
V_{mp}	31,47 V	18.3 V
I_{mp}	8,58 A	8,2 A
V_{oc}	37,81 V	22,4 V
I_{sc}	9,11 A	8,72 A
TONC	47 ° C	45 ° C
Eficiencia	16,59%	15,33%
CCT- I_{sc}	0.05 $\frac{\%}{^{\circ}C}$	0.01 $\frac{\%}{^{\circ}C}$
CCT- V_{oc}	0.35 $\frac{\%}{^{\circ}C}$	0.31 $\frac{\%}{^{\circ}C}$
CCT- P_{Máx}	0.45 $\frac{\%}{^{\circ}C}$	0.40 $\frac{\%}{^{\circ}C}$

d1. Justificación de la selección del panel solar.

Mediante un análisis, se selecciona el panel de 270 W representado en la figura 22 debido a, que, para abastecer la demanda, llegar al voltaje del punto de máxima potencia y para que el inversor trabaje sin ningún problema sólo se necesitan 8 paneles en serie cuya potencia sería 2,16 kW y 251,76 VDC, mientras que con el de 150 W se necesitarían poner en serie 15 paneles. En el Anexo 4 se detallan la información mecánica y características eléctricas.

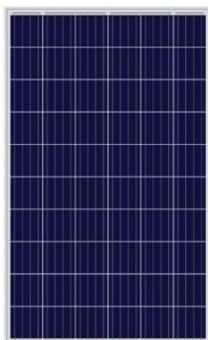


Figura 22. Panel Solar SUNMART P60-270 Wp

Fuente: Sunmart

d2. Número de total de Paneles Solares

A continuación, se calcula el número de paneles solares para el sistema fotovoltaico.

Tabla 13.

Datos meteorológicos de la ciudad de Latacunga

Ta máx.	25 °C
Ta min	5°C

CONTINÚA



I máx.	1200 W/m ²
I min	100 W/m ²

$$T_p = T_a + \frac{T_{ONC} - 20}{800} I$$

Donde:

T_p = temperatura del panel

T_a = temperatura ambiente

$T_{a \max}$ = temperatura ambiente máximo

$T_{a \min}$ = temperatura ambiente mínimo

TONC = temperatura de operación nominal de célula

I_{\max} = Irradiancia máxima

I_{\min} = Irradiancia mínima

$$T_{p \min} = 5 + \frac{47 - 20}{800} 100 = 8,37 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$T_{p \max} = 25 + \frac{47 - 20}{800} 1200 = 65,5 \text{ } ^\circ\text{C}$$

d3. Encontrar el Voltaje máximo del panel

$$\frac{\delta V_{oc}}{\delta T} = \frac{\delta V_{mp}}{\delta T} = 37,81 \text{ V} * \frac{0.35\%}{^\circ\text{C}} * \frac{1}{100\%} = 0.1323 \frac{\text{V}}{^\circ\text{C}}$$

Donde:

ΔT = diferencial de temperatura

ΔV = diferencial de voltaje

$$\Delta T = 25^{\circ}\text{C} - 8,37^{\circ}\text{C} = 16,63^{\circ}\text{C}$$

$$\Delta V = \Delta T * \frac{\delta V_{oc}}{\delta T} = 16,63^{\circ}\text{C} * 0,1323 \frac{\text{V}}{^{\circ}\text{C}} = 2,16 \text{ V}$$

$$V_{\text{max panel}} = V_{oc} + \Delta V$$

$$V_{\text{max panel}} = 37,81 + 2,16 = 39,97 \text{ V}$$

d4. Encontrar el Voltaje mínimo del panel

$$\Delta T = 65,5^{\circ}\text{C} - 25^{\circ}\text{C} = 40,5^{\circ}\text{C}$$

$$\Delta V = \Delta T * \frac{\delta V_{oc}}{\delta T} = 40,5^{\circ}\text{C} * 0,1323 \frac{\text{V}}{^{\circ}\text{C}} = 5,35 \text{ V}$$

$$V_{\text{min panel}} = V_{oc} - \Delta V$$

$$V_{\text{min panel}} = 37,81 - 5,35 = 32,46 \text{ V}$$

d5. Paneles en serie máximos

$$N_{ps} \leq \frac{V_{\text{max inversor}}}{V_{\text{max panel}}}$$

N_{ps} = número de paneles en serie

$$N_{ps} \leq \frac{450 \text{ V}}{39,97 \text{ V}}$$

$$N_{ps} \leq 11,25$$

$$N_{ps} \leq 11 \text{ paneles}$$

d6. Paneles en serie mínimos

$$N_{ps} \geq \frac{V_{\text{min inversor}}}{V_{\text{min panel}}}$$

$$N_{ps} \geq \frac{250 \text{ V}}{32,46 \text{ V}}$$

$$N_{ps} \geq 7,7$$

$$N_{ps} \geq 8 \text{ paneles}$$

d7. Número de hileras máximo

$$N_{hp} \leq \frac{I_{\text{max admisible inversor}}}{I_{sc}}$$

$$N_{hp} \leq \frac{18 \text{ A}}{9,11 \text{ A}} = 1,98$$

$$N_{hp} \leq 1,98$$

$$N_{hp} \leq 1 \text{ hilera}$$

De acuerdo a los cálculos anteriores se puede optar por un arreglo de 8 paneles en serie.

$$P_{PANELES} = 270 \text{ W} \times 8$$

$$P_{PANELES} = 2160 \text{ W}$$

$$\text{Potencia Instalada} \leq P_{PANELES}$$

$$2120 \text{ W} \leq 2160 \text{ W}$$

Se cumple con la potencia instalada que necesita un cliente residencia tipo B. El arreglo de 8 paneles en serie debe estar dentro del rango del punto de máxima potencia para que trabaje normalmente, por lo cual:

$$V_{PANELES} = 31.47 \text{ V} \times 8$$

$$V_{PANELES} = 251.76 \text{ VDC}$$

$$250 \text{ VDC} \leq 251.76 \text{ VDC} \leq 450 \text{ VDC}$$

El arreglo de 8 paneles se encuentra dentro del rango del punto de máxima potencia del inversor, entonces sería un arreglo de 8 paneles solares conectados en serie como se muestra la figura 23.

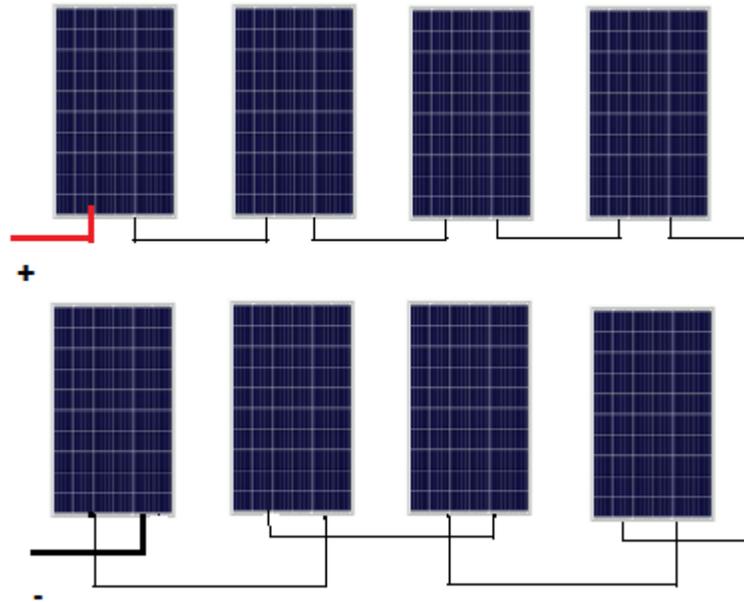


Figura 23. Esquema de la conexión de los 8 paneles en serie

5.7.2. Dimensionamiento del banco de Baterías

Para el dimensionamiento de las baterías utilizamos la siguiente ecuación.

$$C_b = \frac{E_D}{V_N * n_b * n_I}$$

Donde:

C_b : Capacidad de la Batería

E_D : Consumo diario de energía

V_N : Voltaje nominal del sistema

n_b : Rendimiento de la Batería

n_I : Rendimiento del inversor

$$E_D = \frac{310 \text{ kW/mes}}{30 \text{ dias/mes}}$$

$$E_D = 10.33 \text{ kW/día}$$

Se toma un 60% del consumo diario de energía debido a que el sistema fotovoltaico cuenta con apoyo de la red.

$$E_D = 10.33 \frac{\text{kW}}{\text{día}} (60\%)$$

$$E_D = 6.2 \text{ kW/día}$$

$$C_b = \frac{E_D}{V_N * n_b * n_I}$$

$$C_b = \frac{6200 \frac{W}{\text{día}}}{(0.7)(0.93)(48 \text{ Vdc})}$$

$$C_b = 198.41 \text{ Ah}$$

a. Velocidad de descarga de la Batería

El tiempo de descarga de la batería viene dado en función de la energía demandada sobre la potencia total instalada, en este caso se toma como referencia la de una casa promedio $P_1 = 1200 \text{ W}$

$$t = \frac{E_D}{P_1}$$

Donde:

P_1 : Potencia total instalada

t : tiempo

$$t = \frac{6200 \text{ W/día}}{1200 \text{ W}}$$

$$t = 5,16$$

En la figura 24 se interpola a la capacidad de C_{10}

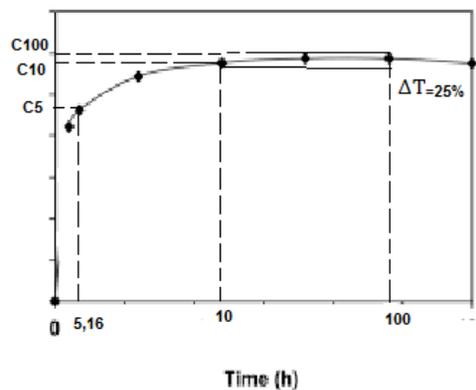


Figura 24. Curva de Descarga de la Batería

Fuente:(Renova Energía, 2019c)

$$C_b = C_5 = 198.41 \text{ Ah}$$

$$\frac{C_{10} - C_5}{(10 - 5,16)} = \frac{0,25 C_{10}}{90}$$

$$\frac{C_{10} - 198,71}{4,84} = \frac{0,25 C_{10}}{90}$$

$$90 C_{10} - 17883,9 = 1,21 C_{10}$$

$$C_{10} = \frac{17883,9}{88,79}$$

$$C_{10} = 201,4 \text{ Ah}$$

b. Número de Baterías en serie

$$\text{Número de baterías en serie} = \frac{\text{V nominal del sistema}}{\text{V nominal batería}}$$

$$\text{Número de baterías en serie} = \frac{48 \text{ V}}{12 \text{ V}}$$

$$\text{Número de baterías en serie} = \mathbf{4 \text{ baterías}}$$

c. Selección de la Batería de acumulación

De acuerdo a la capacidad obtenida se selecciona la batería de mayor aproximación de valor comercial. En la tabla 14 se comparan dos marcas diferentes de baterías.

5.7.3. Selección del medidor de energía bidireccional

El contador o medidor de energía bidireccional se selecciona de acuerdo a las magnitudes eléctricas de nuestra red eléctrica local, en la tabla 15 se muestra las opciones para la selección del medidor de energía.

Tabla 15.

Comparación de los contadores de energía.

Marcas	CEM – C6	CDP-0
Tensión nominal	230 Vca	230VAC ± 10%
Frecuencia	50/60 Hz	50/60 Hz
Conexionado	Monofásico	Monofásico
Corriente nominal	10 A	.../250 mA
Corriente máxima	100 A	.../300 mA
Temperatura de trabajo	-25.....+65°C	-20°C a +70°C
Dimensiones	18x90x72 mm	
Peso	100 g	250 g
Comunicación	RS-485 / Modbus-RTU	Ethernet, RS-485, RS-232, RS-422.

a. Justificación de selección de medidor bidireccional.

De acuerdo a la red y a la salida/entrada de voltaje del inversor se necesita de un medidor bidireccional monofásico 220 VAC, ya que los dos medidores presentan las mismas características, se opta por el modelo CEM-C6 mostrado en la figura 26 debido a que presenta un rango de corriente de trabajo alto en comparación con el otro modelo. Para ver más información dirigirse al (Anexo 6)



Figura 26. Medidor bidireccional

Fuente: Circuitor.es

a. Justificación del empleo del Analizador AEMC 3945 en reemplazo del medidor bidireccional.

Se opta por utilizar el analizador de calidad de energía AEMC 3945 debido a que este instrumento de medición ofrece el registro de datos de varios parámetros eléctricos, dentro de ellos la medición de la potencia que se suministra a la red y la potencia que se extrae de la red. El analizador pertenece al laboratorio de accionamientos eléctricos de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE extensión Latacunga. En la figura 27 se muestra el analizador modelo 3845 y en el Anexo 7 se detalla sus características.



Figura 27. Analizador de Calidad de Energía Eléctrica Modelo 3945

Fuente: EMC Instruments

5.7.4. Selección del medidor de energía

De acuerdo al diseño propuesto se debe seleccionar un medidor de energía para que cuantifique la energía demandada por la carga, en la tabla 16 se comparan dos marcas distintas de medidores, se debe tener en cuenta para la selección el rango de medición que se va a necesitar.

Tabla 16.

Comparación de los medidores de energía para la carga.

MARCAS	PM5000	YAPTHES
Rango de voltaje	100...415 V AC (45...65 Hz) 125...250 V DC	AC 80-300V
Rango de corriente	10...9000 mA	CA 0-100A
Precisión	+/- 0.5 % active energy +/- 0.5 % active power +/- 0.05 % frequency +/- 0.005 % power factor +/- 0.5 % current +/- 0.5 % voltage	1%, ± 2 dígitos
Rango de potencia activa		0-30000W
Peso	430 g	118 g
Dimensiones	96 x72x96	7x7x7 cm

a. Justificación de selección del medidor de energía.

El medidor que se ajusta a las necesidades es el de la marca YaptheS que se muestra en la figura 28 (Anexo 8), debido a que se necesita un rango de medida de la potencia activa de hasta 30 kW, suficientes para medir la potencia de un hogar promedio.



Figura 28. Medidor de energía D52-2047

Fuente: TAIYEDQ.cn

5.7.5. Criterio de selección del software

Solar Power es un software de supervisión propio del inversor InfiniSolar que puede controlar múltiples dispositivos a través del puerto serie al mismo tiempo. Las principales funciones de software de monitorización Solar Power incluyen registro de datos para dispositivos, los mensajes de alarma, mensajes de error y ajuste de parámetros para los dispositivos. Las características de este software son:

- Adquisición automática y en tiempo real de datos de dispositivos y almacenamiento seguro de registros de datos
- Representación gráfica de los datos del dispositivo para la lectura rápida y fácil
- Advertencia, notificaciones o alarmas de fallo a través de mensajería móvil, mensaje de la bandeja y el correo electrónico.
- Fácil diagnóstico de estadísticas de eventos
- Soporta actualización en línea y actualización manual.

a. Interfaz

Hay cinco secciones en la interfaz GUI (Interfaz Gráfica de Usuario) como está marcado en la Figura 29:

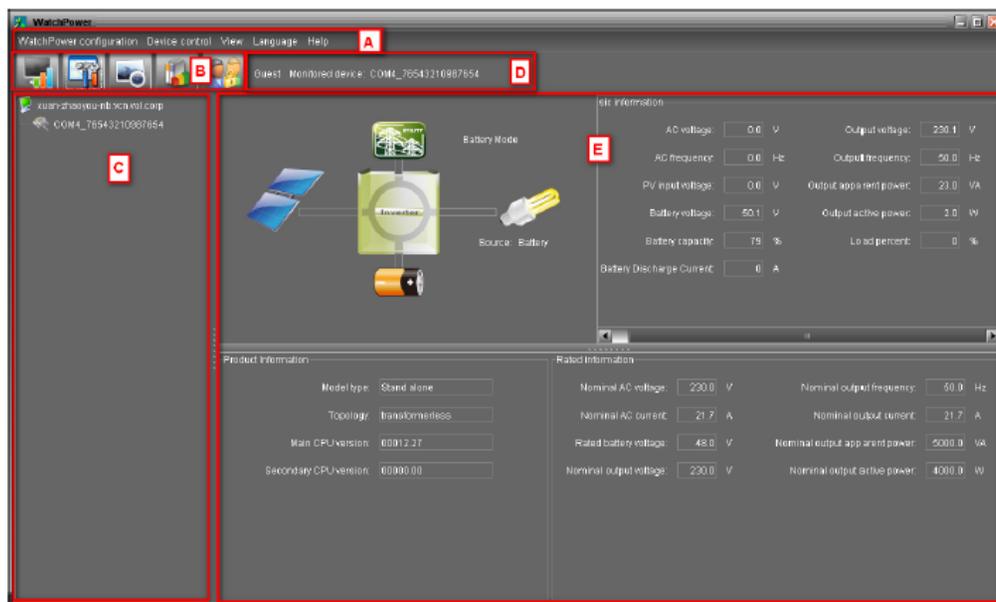


Figura 29. Interfaz Software SolarPower
Fuente: (User Manual WachtPower)

A. El menú de funciones ofrece un conjunto completo de herramientas para navegar y configurar la GUI.

B. El menú contextual proporciona accesos directos a las funciones más utilizadas.

C. La navegación del inversor indica todos los dispositivos.

D. La información de monitoreo actual muestra la ID de usuario, la ID de inversor

E. Ventana Principal muestra el flujo de potencia, información de la operación, la información del dispositivo e información nominal del inversor monitorizado actual.

c. Información básica

Se muestra información de tensión de CA, la frecuencia de CA, voltaje de entrada PV, voltaje de la batería, la capacidad de la batería, corriente de carga, tensión de salida, frecuencia de salida, la potencia aparente de salida, potencia activa de salida y porcentaje de carga.

5.8 Metodología para la ejecución de la propuesta del proyecto

5.8.1 Diseño del sistema fotovoltaico.

A partir del dimensionamiento del inversor se seleccionan los componentes restantes, los paneles solares deben alcanzar a producir el rango de V_{mpp} característico del inversor, las baterías calculadas deben almacenar cierto porcentaje de la energía de demanda ya que la instalación fotovoltaica cuenta con el apoyo de la red eléctrica. Además, para evitar la destrucción de los equipos a causas de fallas imprevistas las protecciones son necesarias para salvaguardar cada componente del sistema como se muestra en el Anexo 8 en el diagrama eléctrico del sistema.

5.8.2 Esquema de conexionado de los equipos.

La figura 30 muestra el conexionado de los elementos implementados en el sistema de generación fotovoltaico conexión a red con almacenamiento. En el diagrama de

conexiones (Anexo 9) se muestra de manera más detallada todos los equipos eléctricos que conforman el sistema.

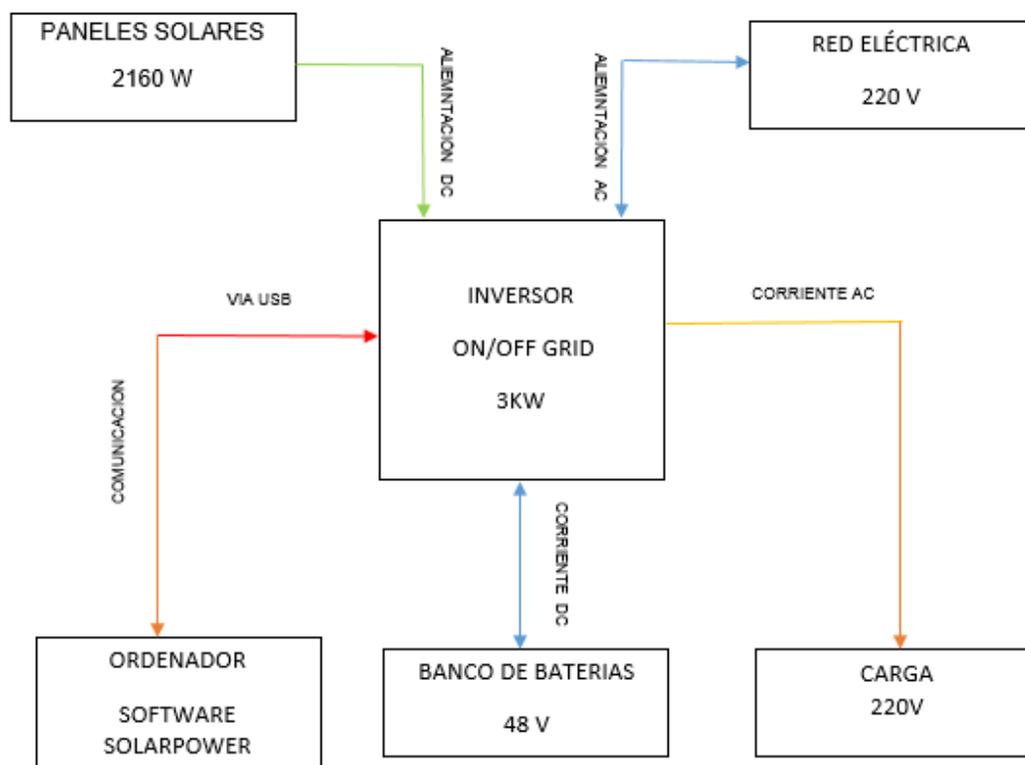


Figura 30. Esquema de conexionado

5.8.3 Comunicación del sistema fotovoltaico con el computador

Mediante el software Solar Power se monitorea todo el sistema fotovoltaico, verificando su funcionalidad y da la oportunidad de establecer prioridades de acuerdo a las necesidades de la carga, carga y descarga de baterías y la interacción con la red. En la figura 31 se muestra la conexión entre el ordenador y el inversor que es a través de comunicación vía USB.



Figura 31. Conexión entre el inversor y el ordenador

5.8.4 Configuraciones iniciales Solar Power

Es necesario configurar el software a los valores característicos de nuestro sistema eléctrico con el objetivo de obtener mediciones correctas y en tiempo real. El Solar Power es un programa propio de los inversores de la marca Infinity Solar, el cual permite el monitoreo, siempre y cuando exista una comunicación con el computador.

A continuación, se presentan las configuraciones iniciales para poner en marcha el inversor:

- Se debe conectar el inversor con la computadora, mediante el puerto de comunicación usb o el puerto rs232, hasta establecer la comunicación, como se muestra en la figura 32.



Figura 32. Verificación de comunicación

- Para iniciar con las configuraciones preliminares del inversor, se ingresa al sistema como administrador, para lo cual, se selecciona el ultimo icono de la barra de herramientas de la parte superior, como se muestra en la figura 33, aquí se debe ingresar la contraseña que por defecto es administrator.



Figura 33. Configuraciones preliminares

- Seleccionar el segundo icono de la barra de herramientas para realizar las configuraciones iniciales del inversor.

Aquí se configurará únicamente la región en la que operará el inversor, la fuente principal de energía del sistema, la prioridad de descarga de la energía producida, la frecuencia de la red que será de 60 HZ, la tensión de salida de AC la cual es 220v y los voltajes mínimos para recargar las baterías, tal como se muestra en la figura 34.

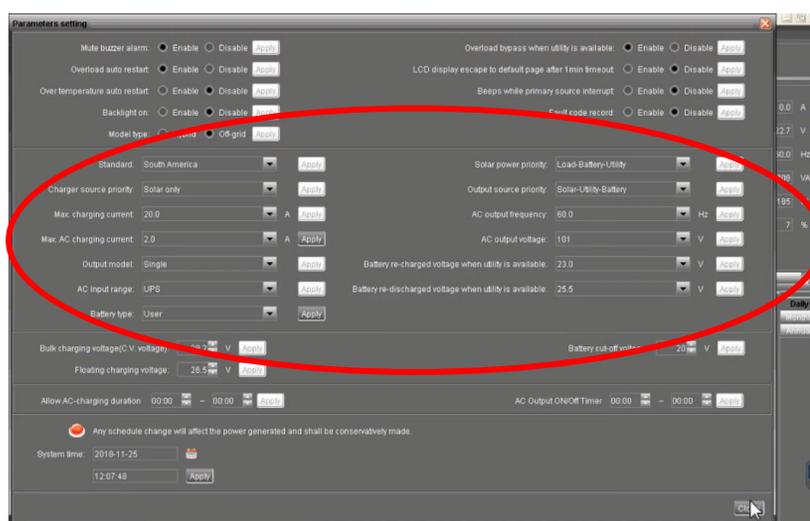


Figura 34. Configuraciones iniciales del inversor

Para que el inversor trabaje como un sistema de conexión a red con almacenamiento se debe seleccionar la opción Grid-tie with backup II, seleccionar la opción permitir alimentar a la red, fuente de carga: PV only, Fuente de suministro de carga: PV-BATTERY-GRID, fuente de suministro de carga: BATTERY-GRID.

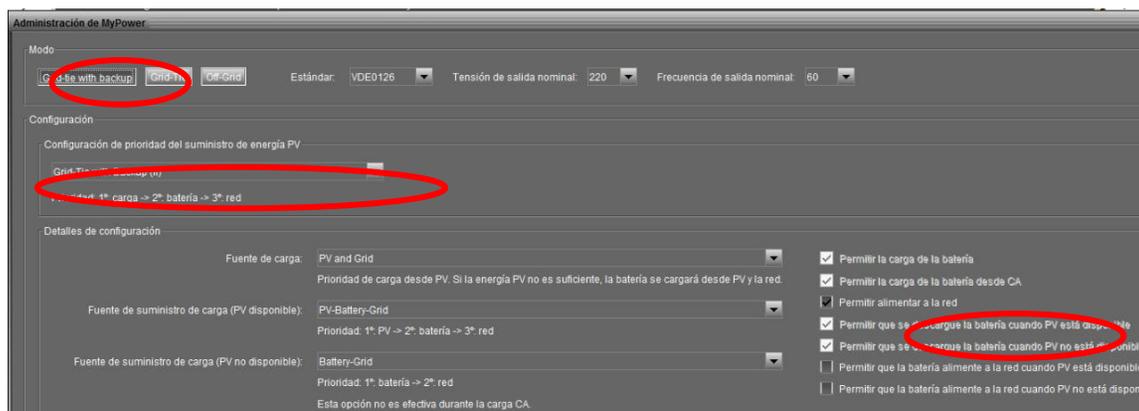


Figura 35. Modos de trabajo

5.9 Metodología de trabajo

Para realizar las pruebas en el sistema se debe tener en cuenta lo siguiente: las conexiones de los equipos de medida y configuración del inversor

5.9.1 Conexión de los equipos de medida

- Conectar las pinzas del analizador de energía AEMC 3945 en las salidas de corriente AC del inversor las mismas que se conectan con la red.
- Configurar el analizador para que registre datos en un intervalo de tiempo de 5 segundos.
- Conectar el medidor de energía YAPTHES D52-2047 antes de la carga.
- Antes de encender el inversor verificar que el voltaje de los paneles sea de 250 a 450 V.
- Para que el inversor se encienda, subir los breakers de las baterías, luego de los paneles solares y por último los de la red.

- f. Conectar con el cable usb para establecer la comunicación entre el inversor y la computadora. Para asegurarse que se estableció la comunicación deberá constatar en la parte izquierda de la pantalla de inicio del programa que esté presente el símbolo del cable usb, con el nombre de usuario de la computadora. (Nota: en ningún momento desconectar el cable usb de la computadora ni del inversor, en caso contrario no almacenará información del inversor)

5.9.2 Configuración del inversor para que trabaje como on/off grid

- a. En el software iniciar sesión como administrador para poder realizar configuraciones, ingresar con la contraseña: administrator.
- b. Dirigirse a control de dispositivo, luego a administración de my power y por último en modo de trabajo seleccionar la opción Grid tied with backup.

5.10 Pruebas de funcionamiento del sistema fotovoltaico

Las pruebas realizadas en esta sección corresponden a la verificación de la comunicación del sistema fotovoltaico con el ordenador para la exportación de datos, y además comprobar el estado de funcionamiento en pantalla del software Solar Power y del inversor.

Antes de poner en funcionamiento el sistema fotovoltaico se debe comprobar que los paneles solares tengan una tensión de entrada aceptable de 250 VDC - 450 VDC hacia el inversor como se mencionó anteriormente. Luego se enciende el sistema, se debe

esperar unos segundos para que se establezca la sincronización de todos los equipos con el inversor, sobre todo la red eléctrica. En la figura 36 se muestra los símbolos de los equipos que conforman el sistema y su correcta comunicación representado por una flecha de flujo de energía.

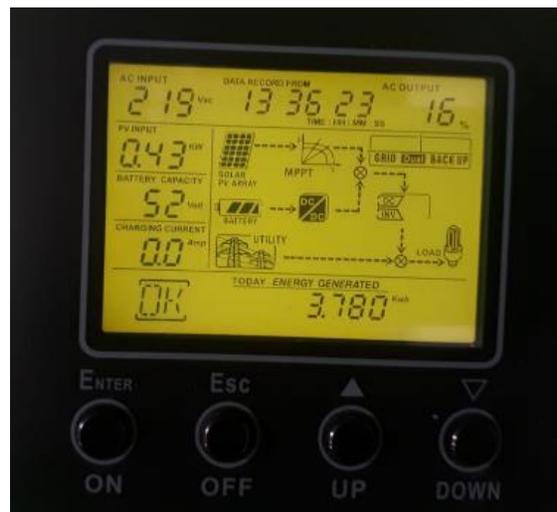


Figura 36. Foto de la pantalla del inversor

Para asegurar una correcta comunicación entre el inversor y el ordenador se debe visualizar en el software Solar Power en la parte izquierda superior el símbolo de un monitor en color verde con el nombre del dispositivo monitoreado como se muestra en la figura 37.

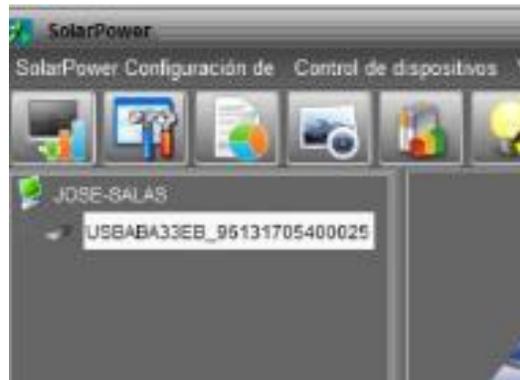


Figura 37. Captura de pantalla del Solar Power

5.10.1 Flujos energía

Hay cinco iconos de dispositivo: panel solar, batería, inversor, la carga y la utilidad. Se muestra el flujo de potencia dinámica con estos cinco iconos de los dispositivos.

- Encendido y modo de espera: el inversor no alimentará la carga hasta que se presione el interruptor "ON". La utilidad calificada o la fuente PV pueden cargar la batería en modo de espera.

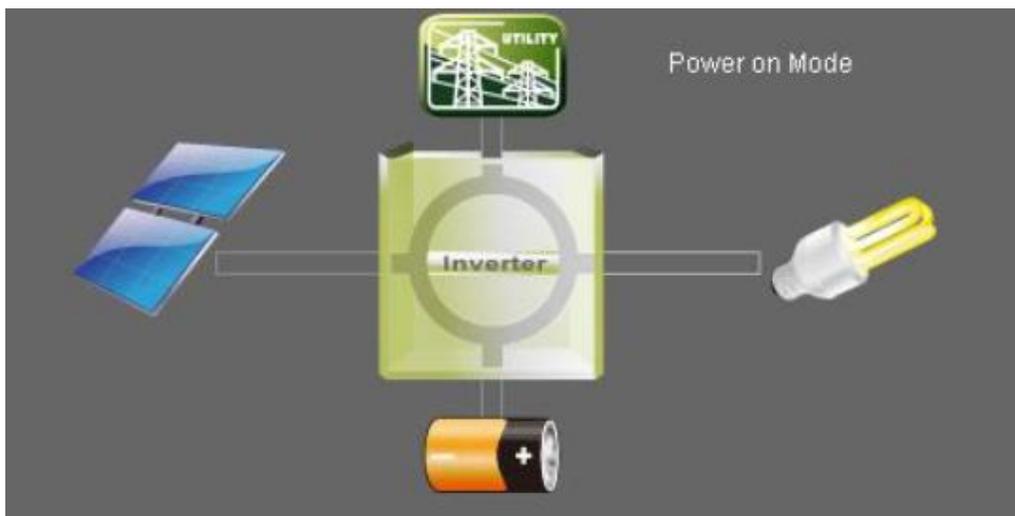


Figura 38. Modo encendido

Fuente: (User Manual WacthPower)

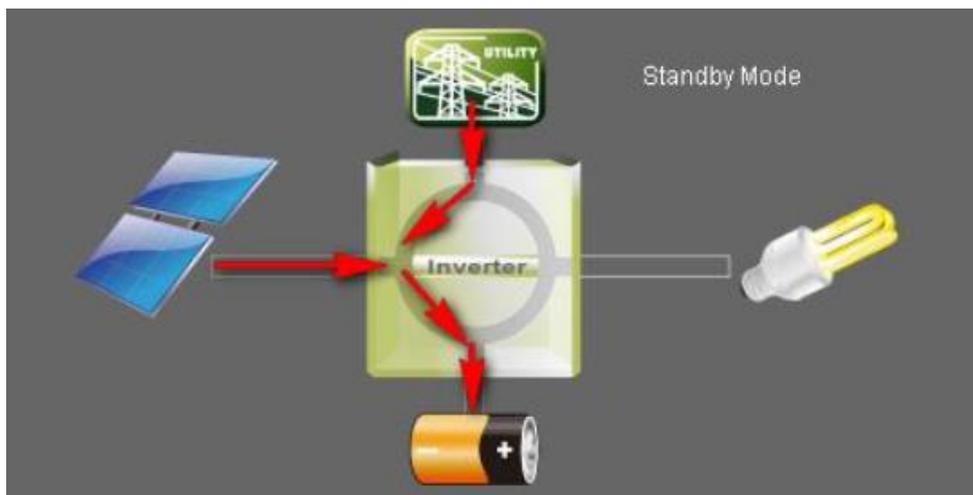


Figura 39. Modo espera

Fuente: (User Manual WacthPower)

- Modo en línea: el inversor alimentará la carga de la red pública. La utilidad calificada o la fuente fotovoltaica pueden cargar la batería.

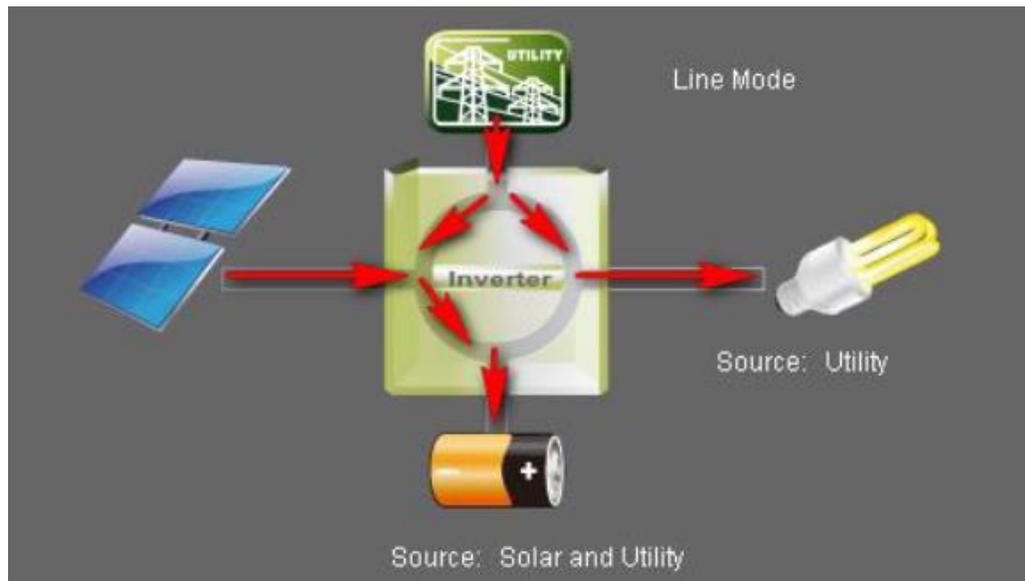


Figura 40. Modo en línea

Fuente: (User Manual WacthPower)

- Modo de batería: el inversor alimentará la carga desde la batería o el panel fotovoltaico. Solo la fuente fotovoltaica puede cargar la batería

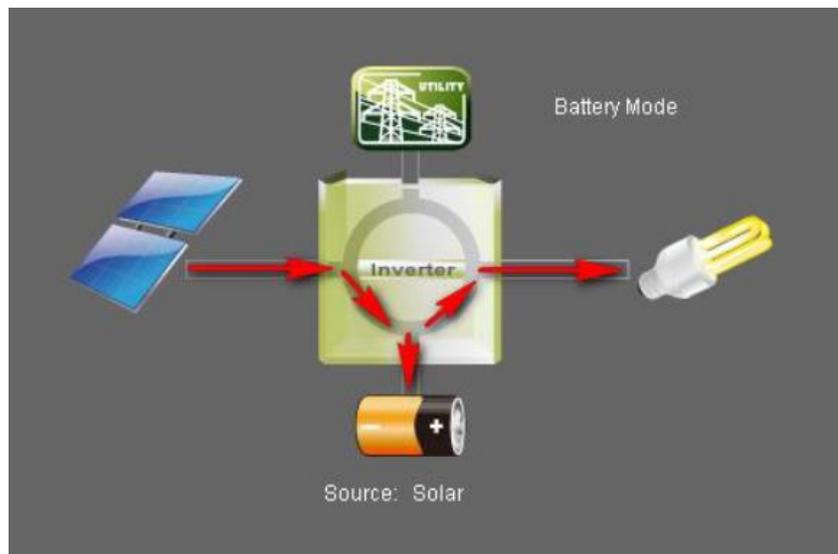


Figura 41. Modo de batería

Fuente: (User Manual WacthPower)

- Modo de falla: Algunas fallas ocurrieron en el inversor y no se genera salida de energía del inversor. La utilidad calificada o la fuente PV aún pueden cargar la batería.

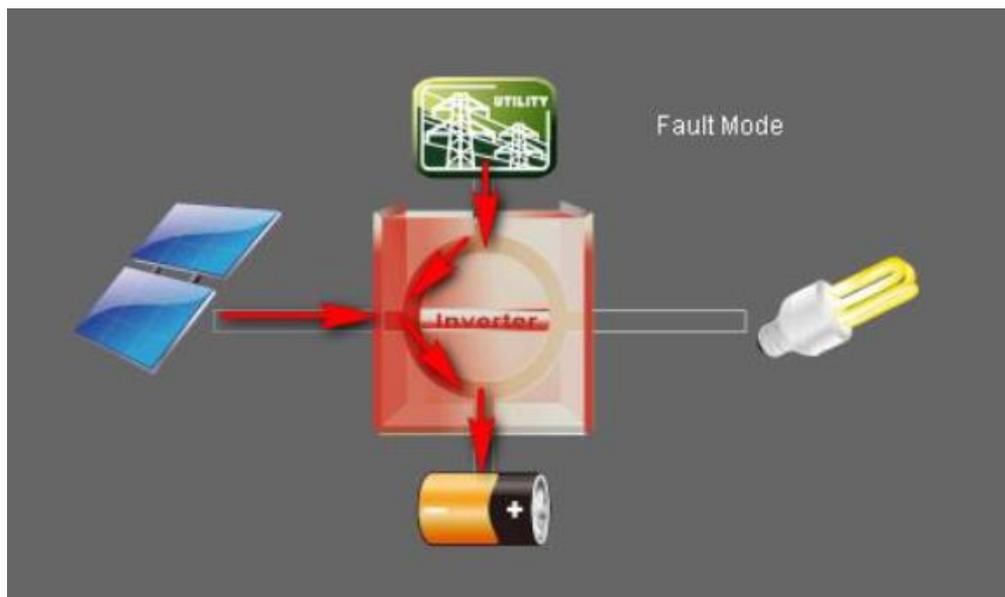


Figura 42. Modo de fallo

Fuente: (User Manual WacthPower)

5.10.2 Registro de datos

El registro de las mediciones del sistema fotovoltaico se genera a través del software exportando los registros a una hoja de Excel como se indica en la figura 43, en donde muestra los registros de la fecha, el intervalo de tiempo, la potencia del sistema, la tensión de entrada de los paneles, la potencia de la carga, la potencia del banco de baterías, entre otros.

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
Modo dispositivo	Hora	Tensión de la red	Potencia de entrada PV	Frecuencia de la red	Tensión de entrada PV	Potencia de carga	Nivel de carga	Tensión de la batería	Capacidad de la batería
Grd-tie w/ih backup	2019-12-06 18:05:51	218.2	0	59.9	104.7	527.0	17	49.8	63
Grd-tie w/ih backup	2019-12-06 18:05:29	218.4	1	60.0	104.8	512.0	17	49.8	63
Grd-tie w/ih backup	2019-12-06 18:04:57	219.2	1	59.9	107.1	515.0	17	49.8	63
Grd-tie w/ih backup	2019-12-06 18:04:25	218.4	0	60.0	107.6	504.0	17	49.8	63
Grd-tie w/ih backup	2019-12-06 18:03:53	218.9	2	60.0	107.9	521.0	17	49.8	63
Grd-tie w/ih backup	2019-12-06 18:03:21	218.4	1	59.9	109.6	494.0	16	49.8	63
Grd-tie w/ih backup	2019-12-06 18:02:59	219.4	0	59.9	109.5	516.0	17	49.8	64
Grd-tie w/ih backup	2019-12-06 18:02:27	218.8	1	60.0	110.9	516.0	17	49.9	64
Grd-tie w/ih backup	2019-12-06 18:01:55	218.8	2	59.9	112.7	367.0	12	50.3	66
Grd-tie w/ih backup	2019-12-06 18:01:23	218.9	1	60.0	114.8	36.0	2	50.9	66
Grd-tie w/ih backup	2019-12-06 18:00:51	218.8	2	59.9	116.0	40.0	2	50.9	68
Grd-tie w/ih backup	2019-12-06 18:00:29	219.3	2	59.9	116.9	36.0	3	50.9	68
Grd-tie w/ih backup	2019-12-06 17:59:56	219.4	2	60.0	117.8	37.0	2	50.9	68
Grd-tie w/ih backup	2019-12-06 17:59:25	218.8	3	59.9	119.7	28.0	2	50.9	68
Grd-tie w/ih backup	2019-12-06 17:58:53	218.6	4	59.9	119.3	56.0	3	50.9	68
Grd-tie w/ih backup	2019-12-06 17:58:21	218.9	4	59.9	119.9	45.0	2	50.8	67
Grd-tie w/ih backup	2019-12-06 17:57:59	218.9	3	59.9	120.1	38.0	2	50.8	67
Grd-tie w/ih backup	2019-12-06 17:57:27	218.9	4	60.0	119.9	20.0	2	50.8	67
Grd-tie w/ih backup	2019-12-06 17:56:55	218.9	3	59.9	120.0	41.0	2	50.7	66
Grd-tie w/ih backup	2019-12-06 17:56:23	218.0	4	59.8	120.0	41.0	2	50.5	64
Grd-tie w/ih backup	2019-12-06 17:55:51	217.7	5	59.9	120.0	526.0	17	49.8	63
Grd-tie w/ih backup	2019-12-06 17:55:30	218.0	5	60.0	120.0	512.0	17	49.8	63
Grd-tie w/ih backup	2019-12-06 17:45:38	217.7	12	60.0	120.0	511.0	17	49.9	64
Grd-tie w/ih backup	2019-12-06 17:45:06	217.9	13	60.0	120.0	503.0	16	49.9	64
Grd-tie w/ih backup	2019-12-06 17:44:34	218.2	13	60.1	120.0	524.0	17	49.9	64
Grd-tie w/ih backup	2019-12-06 17:44:02	217.5	15	59.9	120.0	527.0	17	49.9	64
Grd-tie w/ih backup	2019-12-06 17:43:30	217.7	16	59.9	120.0	502.0	17	49.9	63
Grd-tie w/ih backup	2019-12-06 17:43:09	217.7	16	60.0	120.0	510.0	17	49.9	64
Grd-tie w/ih backup	2019-12-06 17:42:37	217.5	17	59.9	120.0	509.0	17	49.9	64
Grd-tie w/ih backup	2019-12-06 17:42:05	217.8	16	59.9	120.0	506.0	17	49.9	64
Grd-tie w/ih backup	2019-12-06 17:41:33	217.5	17	60.0	120.0	502.0	16	49.9	63
Grd-tie w/ih backup	2019-12-06 17:41:01	217.6	18	59.9	119.9	523.0	17	49.9	63
Grd-tie w/ih backup	2019-12-06 17:40:20	217.4	18	60.0	120.0	511.0	17	49.9	64

Figura 43. Exportación de registro de datos del Solar Power

De la misma manera se obtienen los registros de datos del Analizador AEMC 3945, utilizando el software Data View en donde nos interesa conocer la potencia de la red. La figura 44 muestra la exportación de datos del analizador.

7	Fecha	Hora	Frecuencia	V1 RMS	V1 THD	V1 CF	Pst1	Pit1	A1 RMS	A1 THD	A1 CF	KF1	W1	Wh1	var1	varh1	VA1	VAh1	PF1	DPF1	Tan1
8			Hz	V	%			A	%				W	Wh	var	varh	VA	VAh			
10	6/12/19	9:01:00		59.95	212.9	1.3	1.4	0.5	1.2	28.2	2.6	43	-148.9	-0.21	-216.8	-0.3	263	0.37	-0.57	-0.62	1.27
11	6/12/19	9:01:05		59.95	212.9	1.3	1.4	0.5	1.2	29.2	2.37	46.9	-150	-0.42	-216.9	-0.6	263.7	0.73	-0.57	-0.62	1.26
12	6/12/19	9:01:10		59.96	212.9	1.3	1.4	0.5	1.2	28.9	2.36	44	-151.5	-0.63	-216.3	-0.9	264.1	1.1	-0.57	-0.63	1.24
13	6/12/19	9:01:15		59.97	212.8	1.3	1.4	0.5	1.2	29	2.5	43.6	-153	-0.84	-216.3	-1.2	264.9	1.47	-0.58	-0.63	1.23
14	6/12/19	9:01:20		59.98	212.8	1.3	1.4	0.5	1.2	28.5	2.35	44.2	-155.3	-1.05	-217.1	-1.5	267	1.84	-0.58	-0.64	1.21
15	6/12/19	9:01:25		60	213	1.3	1.4	0.5	1.3	30.2	2.33	56.5	-156.7	-1.27	-216.6	-1.81	267.3	2.21	-0.59	-0.64	1.2
16	6/12/19	9:01:30		60.03	212.6	1.3	1.39	0.5	1.3	28	2.48	42.3	-158.8	-1.49	-216.4	-2.11	268.4	2.58	-0.59	-0.65	1.18
17	6/12/19	9:01:35		60.04	212.6	1.3	1.4	0.5	1.3	27.3	2.46	42.3	-160.2	-1.71	-216.2	-2.41	269.1	2.95	-0.6	-0.65	1.18
18	6/12/19	9:01:40		60.02	212.7	1.3	1.39	0.5	1.3	29.1	2.55	46.9	-161.2	-1.94	-215.9	-2.71	269.4	3.33	-0.6	-0.65	1.16
19	6/12/19	9:01:45		60.02	212.7	1.3	1.4	0.5	1.3	29.7	2.31	54.2	-162.2	-2.16	-216.3	-3.01	270.4	3.7	-0.6	-0.65	1.16
20	6/12/19	9:01:50		60.01	212.7	1.3	1.4	0.5	1.3	28.4	2.28	43.2	-164.3	-2.39	-216	-3.31	271.4	4.08	-0.61	-0.66	1.14
21	6/12/19	9:01:55		60.02	212.6	1.3	1.4	0.5	1.3	28.1	2.19	43.8	-166.2	-2.62	-215.5	-3.61	272.1	4.46	-0.61	-0.66	1.12
22	6/12/19	9:02:00		60.01	212.5	1.3	1.39	0.5	1.3	28.5	2.24	44	-168	-2.86	-215.7	-3.91	273.4	4.84	-0.61	-0.67	1.11
23	6/12/19	9:02:05		60.02	212.6	1.3	1.4	0.5	1.3	28.1	2.11	44.9	-168.4	-3.09	-215.1	-4.2	273.2	5.22	-0.62	-0.67	1.11
24	6/12/19	9:02:10		60.02	212.6	1.2	1.39	0.5	1.3	27.9	2.23	46.6	-172.1	-3.33	-215.2	-4.5	275.6	5.6	-0.62	-0.68	1.08
25	6/12/19	9:02:15		60.03	212.6	1.2	1.39	0.5	1.3	29	2.61	48.8	-173.5	-3.57	-215.1	-4.8	276.3	5.98	-0.63	-0.68	1.07
26	6/12/19	9:02:20		60.03	212.5	1.2	1.39	0.5	1.3	29.1	2.16	47	-175	-3.81	-214.4	-5.1	276.8	6.37	-0.63	-0.69	1.06
27	6/12/19	9:02:25		60.02	212.4	1.3	1.39	0.5	1.3	28.4	2.29	46.7	-176.4	-4.06	-214.5	-5.4	277.7	6.75	-0.64	-0.69	1.05
28	6/12/19	9:02:30		60.02	212.7	1.3	1.39	0.5	1.3	29.4	2.12	55.2	-177.7	-4.3	-215.3	-5.7	279.2	7.14	-0.64	-0.69	1.05
29	6/12/19	9:02:35		60.05	212.7	1.3	1.39	0.5	1.3	28.5	2.31	43.2	-177.7	-4.55	-216.4	-6	280	7.53	-0.63	-0.69	1.05
30	6/12/19	9:02:40		60.03	212.8	1.3	1.39	0.5	1.3	28.1	2.37	42.1	-178	-4.8	-216.4	-6.3	280.2	7.92	-0.64	-0.69	1.05
31	6/12/19	9:02:45		59.99	212.6	1.3	1.4	0.5	1.3	29.5	2.2	50.9	-179.7	-5.05	-214.2	-6.6	279.6	8.31	-0.64	-0.7	1.03

Figura 44. Exportación de registro de datos del Analizador AEMC 3945

Por último, se comparan los datos obtenidos por el Solar Power del sistema con los valores medidos por los instrumentos del laboratorio y se logra determinar que sus valores son similares.

5.11 Análisis del balance energético.

5.11.1 Análisis del rendimiento del sistema de generación fotovoltaico conexión a red con almacenamiento.

Con el fin de determinar el rendimiento del sistema se propone medir la potencia solar, la potencia de los paneles solares, la potencia de la red utilizando el Analizador AEMC 3945, la potencia de las baterías, y la potencia de la carga. Las mediciones se realizan el 14/11/2019 por un lapso aproximado de dos horas con registro de datos de cada 5 segundos. En la figura 45 se muestra el esquema empleado para la medición.



Figura 45. Equipos de medición instalados en el sistema

En la tabla 17 se muestra un resumen de las mediciones realizadas de la irradiancia y la potencia de la red, para proceder a obtener la energía total y obtener el rendimiento del sistema.

Tabla 17.

Registro de datos de irradiancia solar y la potencia de la red.

Hora	Irradiancia (W/m ²)	Potencia de Red (W)
11:30:00	999	-1040,41
11:35:00	992	-1029,36
11:40:00	997	-1045,37
11:45:00	986	-1028,88
11:50:00	984	-1038,57
11:55:00	899	-1070,65
12:00:00	929	-1142,53
12:05:00	953	-1149,6
12:10:00	949	-1137,96
12:15:00	915	-1087,68
12:20:00	898	-1208,48
12:25:00	894	-1196,08
12:30:00	900	-1215,37
12:35:00	953	-1263,64

CONTINÚA



12:40:00	897	-1186,68
12:45:00	914	-1250
12:50:00	844	-1080,7
12:55:00	883	-1033,8
13:00:00	876	-1046,9
13:05:00	863	-1040,84
13:10:00	833	-991,19
13:15:00	834	-986,92
13:20:00	827	-983,78
13:25:00	816	-949,53
13:30:00	800	-513,6

La figura 46 representa la curva de la irradiancia solar, se evidencia que existió una alta exposición solar ya que las mediciones se realizaron alrededor de las 12h00, obteniendo un total de $2,032 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2}$ de energía solar.

A continuación, se procede a calcular la energía de entrada al sistema:

$$E_{in} = G_T * A_p$$

Donde:

E_{in} : Energía de entrada

G_T : Energía solar generada = $2,032 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2}$

A_p : Área de los módulos solares = 13 m^2

$$E_{in} = 2,032 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2} * 13 \text{ m}^2$$

$$E_{in} = 26,39 \text{ kWh}$$

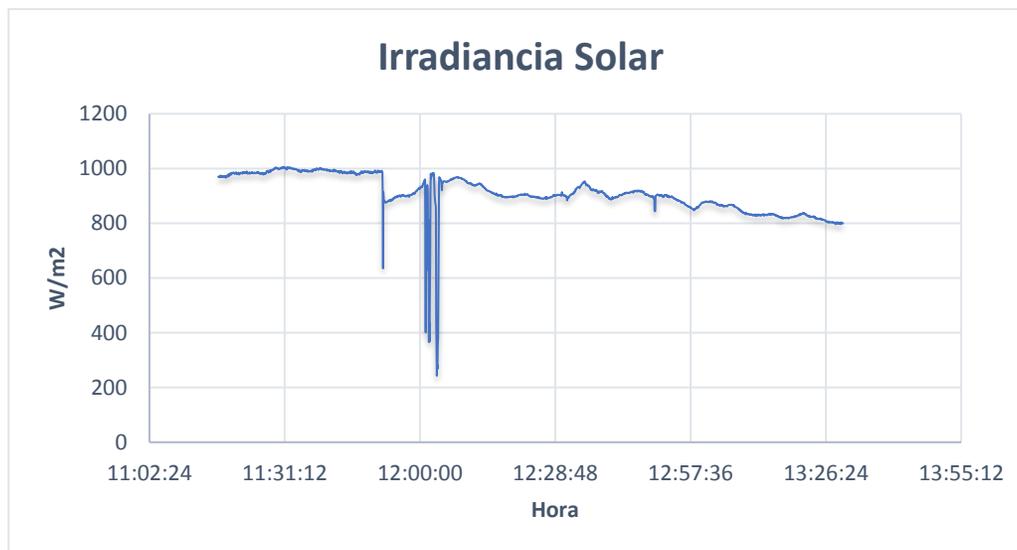


Figura 46. Irradiancia Solar

La alta radiación durante esta prueba de 2,2 horas de duración hace que toda la energía excedente sea inyectada a la red, entregando un total de 2,38 kWh como se muestra en la figura 47 con la gráfica de la potencia entregada a la red.

$$E_{\text{red}} = 2,38 \text{ kWh}$$



Figura 47. Potencia entregada a la red

En la tabla 18 se recolectaron datos a ciertas horas simulando variaciones de carga

Tabla 18.

Registro de datos de las potencias de los equipos

Hora	Potencia de Red	Potencia de Carga	Potencia del SF	Potencia de baterías
	W	W	W	W
11:15:00	1000	410	1670,9	91,8
12:20:00	1221	277	1672	59,25
12:46:00	1082	415	1678,6	53,82
13:33:00	0	424,8	670	53,81

A continuación, calculamos la energía de la carga y la energía de las baterías:

$$E_{\text{carga}} = 0,433 \text{ h} * 227 \text{ W} + 1,083 \text{ h} * 410 \text{ W} + 0,733 \text{ h} * 415 \text{ W}$$

$$E_{\text{carga}} = 846,51 \text{ Wh}$$

$$E_{\text{baterias}} = 2,249 \text{ h} * (1\text{A} * 53\text{V})$$

$$E_{\text{baterias}} = 119,19 \text{ Wh}$$

$$E_{\text{cb}} = E_{\text{carga}} + E_{\text{baterias}}$$

$$\mathbf{E_{cb} = 0,987 \text{ kWh}}$$

Rendimiento del sistema fotovoltaico:

$$n = \frac{E_{\text{out}}}{E_{\text{in}}} * 100\%$$

Donde:

n: rendimiento

E_{out} : Energía de salida

$$n = \frac{E_{\text{cb}} + E_{\text{red}}}{E_{\text{in}}} * 100\%$$

$$n = \frac{0,987 \text{ kWh} + 2,38 \text{ kWh}}{26,39 \text{ kWh}} * 100\%$$

$$\mathbf{n = 13\%}$$

5.11.2 Balance de potencias del sistema fotovoltaico

Para este segundo análisis se realiza una segunda prueba el 06/12/2019, con un registro de toma de datos cada 30 segundos. En la tabla 18 se muestra un resumen de la exportación de datos del Solar Power, además consta la irradiancia solar medida con

la datalogger TES-132 para obtener la energía de entrada al sistema fotovoltaico y la potencia de la red medida con el Analizador AEMC 3945. El color verde representa la potencia que fue aportada a la red y el color amarillo es la potencia de descarga de las baterías.

Tabla 19.

Resumen del registro de datos tomados del Solar Power y registro de datos de irradiancia.

Hora	Irradiancia Solar (W/m ²)	Potencia Solar (W)	Potencia Sistema FV (W)	Potencia Red (W)	Potencia Carga (W)	Potencia Baterías (W)	Potencia Inversor (W)
9:00:00	230	2990	491	-148,86	155	108	70
9:30:00	454	5902	925	-564,08	176	81	70
10:00:00	396	5148	810	-142,38	496	70,2	70
10:30:00	381	4953	761	-110,61	480	70,2	70
11:00:00	393	5109	800	-143,47	495	70,2	70
11:30:00	445	5785	892	-235,17	477	70,2	70
12:00:00	632	8216	1434	-592,65	465	70,2	70
12:30:00	304	3952	599	44,83	478	70,2	70
13:00:00	366	4758	742	-87,99	494	70,2	70
13:30:00	222	2886	454	95,16	499	-201,4	70
14:00:00	240	3120	496	97,21	484	15,87	70
14:30:00	59,9	778,7	118	97,48	477	-314,96	70
15:00:00	51,9	674,7	118	97,13	498	-371,92	70
15:30:00	56,6	735,8	130	97,33	499	-342,72	70
16:00:00	52,5	682,5	265	98,79	504	-344,08	70
16:30:00	108	1404	242	97,39	493	-343,4	70
17:00:00	34,6	449,8	80	97,36	504	-350,7	70
17:30:00	22,4	291,2	21	97,32	519	-369,26	70

La figura 48 muestra la curva de irradiancia solar, integrando esta curva se obtiene una irradiación solar de **2,1 kWh/m²día**.

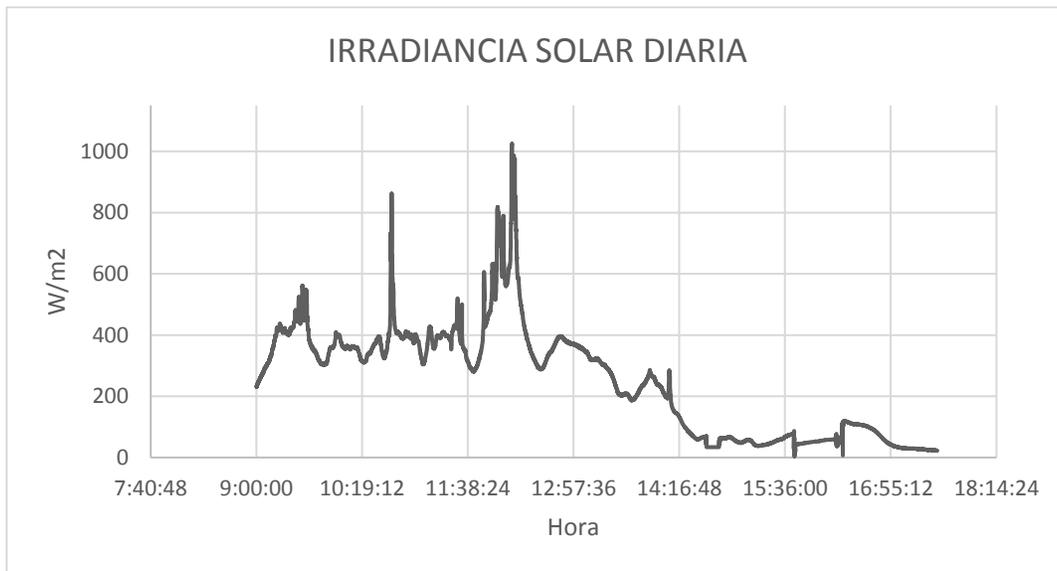


Figura 48. Irradiancia Solar

La representación de la figura 49 indica las curvas de potencia solar y la curva de potencia entregada por el sistema fotovoltaico. La integración de estas dos curvas permite obtener la energía solar de entrada al sistema que es de **27,74 kWh** y la energía que entrega el sistema fotovoltaico de **4,38 kWh**.

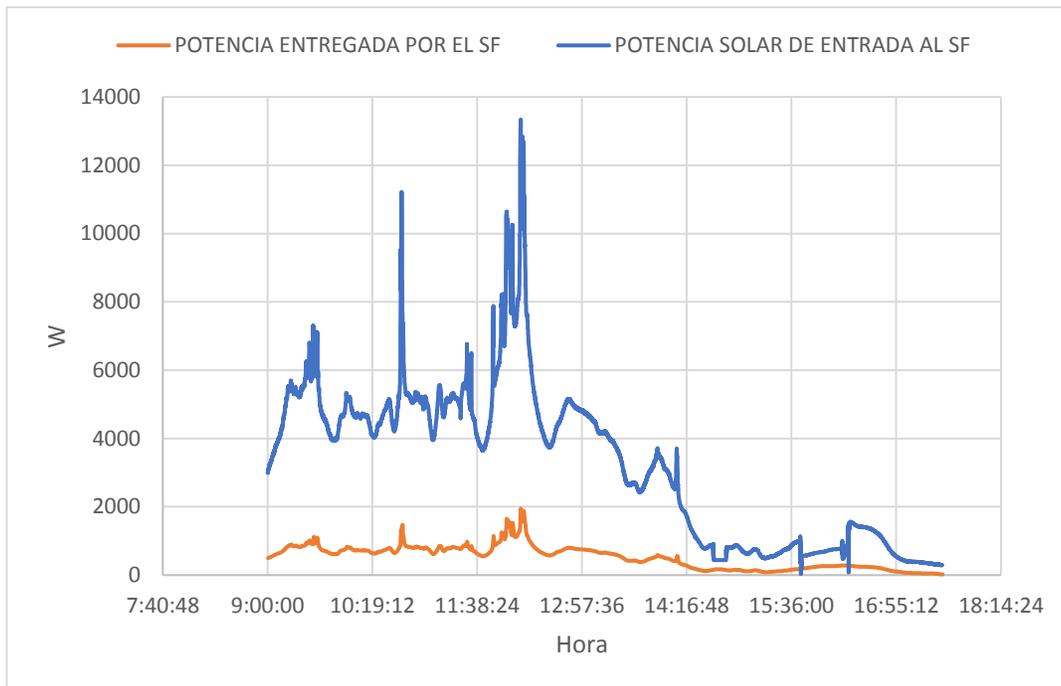


Figura 49. Curva de potencia del sistema fotovoltaico y curva de potencia solar.

Rendimiento del sistema:

$$n = \frac{4,38 \text{ kWh}}{27,74 \text{ kWh}} * 100\%$$

$$n = 15,7 \%$$

La producción del sistema fotovoltaico muestra un valor bajo debido a que las condiciones climáticas no fueron favorables. La energía generada en esta segunda prueba llevada mensualmente sería de 131,46 kWh/mes, cubriendo un 42% de la demanda de consumos de estratos de un residente tipo B (310 kWh/mes).

Balance de potencias:

Dada las circunstancias de la esta prueba se determina el balance de potencias a las 10h00 momento en que hay una exposición solar considerable y los excedentes van a la red pública y al banco de baterías. En la figura 50 muestra gráficamente el balance de potencia donde hay una potencia de 101,6 W que consume el inversor y sus elementos internos, como ventiladores.

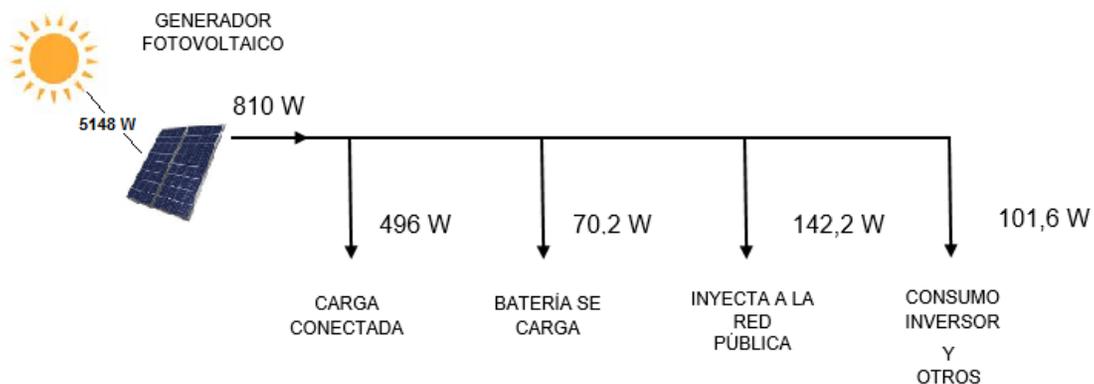


Figura 50. Balance de potencias a las 10h00

La figura 51 muestra el balance de potencias a las 15h00 momento en el que la radiación solar fue baja, tomando así energía de las baterías y energía de la red pública para abastecerá la carga conectada. Existe una potencia de 89,1 W que es consumido por el inversor y sus componentes internos (ventilador).

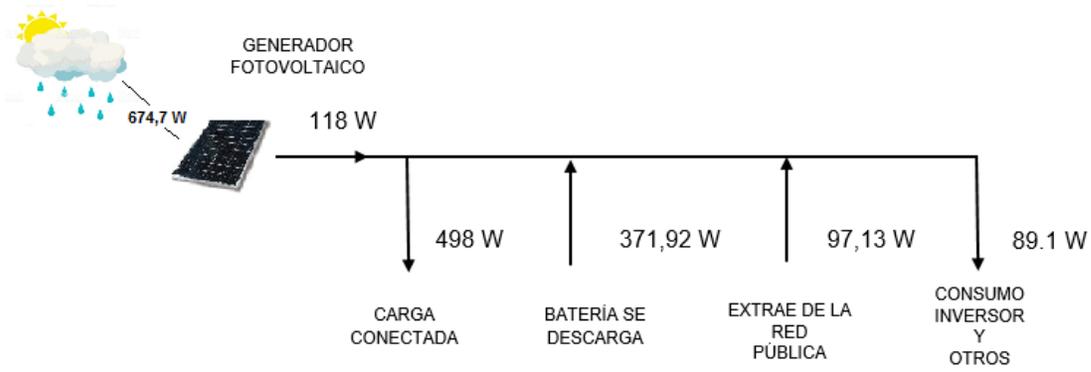


Figura 51. Balance de potencias a las 15h00

CONCLUSIONES

- El sistema de generación fotovoltaico de conexión a red con almacenamiento implementado busca dar a conocer que la energía que es generada de manera propia debe ser consumida de manera directa y así obtener un ahorro en la facturación eléctrica, utilizando como estrategia de mejora del autoconsumo fotovoltaico la acumulación de energía en un banco de baterías.
- Se diseñó e implementó un sistema fotovoltaico de conexión a red con almacenamiento que consta de 8 paneles solares conectados en serie con una potencia total de 2,160 KWp. La potencia del inversor es de 3kW y cuenta para el almacenamiento con 4 baterías de Gel de 12 V y 200 Ah de capacidad cada una, el inversor On/Off Grid es el encargado de transformar la corriente continua en alterna y de gestionar las diferentes energías: paneles, red y baterías para alimentar cargas monofásicas de 220 V.
- La comunicación del sistema fotovoltaico se la realizó a través del software Solar Power, aplicación que es compatible con los inversores InfiniSolar, el cual monitoriza y almacena los datos de la instalación permitiendo dar prioridad al tipo de fuente de energía con que se debe alimentar a la carga.

- Se determinó que el sistema fotovoltaico obtuvo un rendimiento del 13% en un día de condiciones climáticas favorables alcanzando valores superiores de irradiancia solar de más de 1000 W/ m², produciéndose un exceso de energía que ayudó con la carga de las baterías y vertió a la red pública un total de 2,38 kWh en 2,2 horas de ensayo.
- La energía generada por el sistema fotovoltaico en condiciones climáticas no favorables durante un día fue de 4,382 kWh/día que corresponde al 42% de la demanda de consumo de energía del residente tipo B (10,33 kWh/día).

RECOMENDACIONES

- El inversor implementado cuenta con un slot inteligente, para incorporar una tarjeta de comunicación Modbus (opcional), por lo que se recomienda implementar y plantear nuevos proyectos que permita otras alternativas de monitoreo.
- Durante la realización de las prácticas de laboratorio se debe poner en funcionamiento el sistema de acuerdo a lo establecido por las guías (Anexo 10), y de igual manera en el caso de existir aportación de energía a la red pública, solo hacerlo durante el tiempo que dure el ensayo.
- Realizar los trámites correspondientes con la empresa comercializadora de energía para validar los kilovatios horas que se aportan a la red pública y así obtener un mayor beneficio del sistema implementado de acuerdo a lo establecido por las regulaciones del ARCONEL-003/18.

- Brindar el mantenimiento apropiado al sistema fotovoltaico implementado para asegurar un correcto funcionamiento y evitar averías, sobre todo de los módulos solares ya que se encuentran sometidos a agentes externos que podrían afectar su rendimiento.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Andrade, C. A. D., & Hernández, J. C. D. (2011a). Smart Grid: Las TICs y la modernización de las redes de energía eléctrica – Estado del Arte. *Sistemas y Telemática*, 9(18), 53–81. Recuperado el 29 de Septiembre de 2019, de: <https://doi.org/10.18046/syt.v9i18.1075>
- Anny. (9 de Abril de 2019). *Países pioneros en la producción de energía solar*. Recuperado el 1 de Diciembre, de Grupo Sonilic S. de R.L. de C.V.: <https://gruposolinc.com/paises-pioneros-en-la-produccion-de-energia-solar/>
- Antonio, C. S., David, B. D., Eduardo, C. F., & Alonso, C. G. M. (2015). *GENERACIÓN DISTRIBUIDA, AUTOCONSUMO Y REDES INTELIGENTES*. Editorial UNED.
- Agora. (2014). *Soluciones de Ingeniería SOLVENTA*, S. L. Recuperado el 5 de Octubre de 2019, de INTRODUCCION A LAS ENERGIAS RENOVABLES: http://www.agora.ulpgc.es/ficheros/INTRODUCCION_RENOVABLES.pdf
- Berg, H. (2019, abril 15). *Energía Renovable Peru con Deltavolt*. Recuperado el 2 de Enero de 2020, de: <https://deltavolt.pe/energia-renovable/baterias>
- Boukebbous, & Djallel. (2017). CONTROL OF GRID-CONNECTED PHOTOVOLTAIC INSTALLATION WITH BATTERIES AND SUPERCAPACITORS SYSTEM STORAGE. *Journal of Electrical Engineering*, 2. Recueprado el 5 de Diciembre de 2019, de: https://www.researchgate.net/publication/325285445_Control_of_grid-connected_photovoltaic_installation_with_batteries_and_supercapacitors_system_storage.

Bosch. (2000). *Baterías* (1ra ed.). Recuperado el 6 de Septiembre de 2019, de:

<https://books.google.com.ec/books?id=QOeewmx0y14C>

Cáceres, M., Busso, A., Cadena, C., & Vera, L. (2011). *DETERMINACION DE LA*

EFICIENCIA DE CONVERSIÓN DEL INVERSOR EMPLEADO EN UN SISTEMA

DE GENERACIÓN FOTOVOLTAICA CONECTADO A RED INSTALADO EN EL

NORDESTE ARGENTINO. Recuperado el 21 de Octubre del 2019, de:

(<https://www.mendoza->

[conicet.gob.ar/asades/modulos/averma/trabajos/2011/2011-t004-a003.pdf](https://www.mendoza-conicet.gob.ar/asades/modulos/averma/trabajos/2011/2011-t004-a003.pdf)). 15.

<https://www.mendoza->

[conicet.gob.ar/asades/modulos/averma/trabajos/2011/2011-t004-a003.pdf](https://www.mendoza-conicet.gob.ar/asades/modulos/averma/trabajos/2011/2011-t004-a003.pdf)

Cadenas Heras, R. (2014). *Análisis de sistema de autoconsumo híbrido autónomo*

fotovoltaico. Recuperado el 8 de Enero de 2020, de: <https://e->

[archivo.uc3m.es/handle/10016/26248](https://e-archivo.uc3m.es/handle/10016/26248)

Cambio Energético. (2014, marzo 28). *KIT SOLAR AUTOCONSUMO CON BATERÍAS E*

INVERSOR CARGADOR. Cambio Energetico. Recuperado el 30 de Septiembre

de 2019, de: <https://www.cambioenergetico.com/blog/kit-solar-autoconsumo->

[baterias-e-inversor-cargador/](https://www.cambioenergetico.com/blog/kit-solar-autoconsumo-baterias-e-inversor-cargador/)

Carreras, M. B. (2019). *Módulos fotovoltaicos (ISF)*. Editex.

Comisión Federal de Electricidad. (2008). *Energías renovables: Horizontes en México y*

en el mundo. Recuperado el 2 de Diciembre de 2019, de Comisión Federal de

Electricidad: <https://books.google.com.ec/books?id=BKJFQwAACAAJ>

- Equipo Editorial, E. (2014). *UF0153—Montaje eléctrico y electrónico en instalaciones solares fotovoltaicas*. Recuperado el 4 de Octubre de 2019, de: <https://books.google.com.ec/books?id=QrZWDwAAQBAJ>
- EcoInventos. (5 de enero de 2018). Recuperado el 21 Octubre de 2019, de: <https://ecoinventos.com/sistema-solar-fuera-de-la-red-o-conectado/>
- EEQ. (2014). *NORMAS PARA SISTEMAS DE DISTRIBUCION*. Recuperado el 19 de Septiembre de 2019, de GUIA PARA EL DISEÑO DE REDES DE DISTRIBUCION: <http://ftp.eeq.com.ec/upload/informacionPublica/2014/NORMAS%20PARA%20SISTEMAS%20DE%20DISTRIBUCION%20PARTE%20A.pdf>
- Elementos de proteccion de la instalacion fotovoltaica: Energía Solar Fotovoltaica. (s/f). *Elementos de proteccion de la instalacion fotovoltaica*. Recuperado el 1 de julio de 2019, de <http://energiasolarfotovoltaica.blogspot.com/2006/02/elementos-de-proteccion-de-la.html>
- Electroindustria. (Octubre de 2008). *Monitoreo y Control de Redes de Utilities* . Recuperado el 30 de Agosto de 2019, de: <http://www.emb.cl/electroindustria/articulo.mvc?xid=1069&tip=7&xit=caracteristicas-de-software-para-monitoreo-y-control-de-redes-de-utilities>
- Exo Energy. (2019). *Sistema Combinado: Híbrido*. Recuperado el 6 de Septiembre de 2019, de: <http://www.exoenergy.com.ar/soluciones/>
- Figueroa,C, A., N., Pardo,D, A., & Díaz,R, J., L. (2017). Sistema control supervisor de clientes con acceso remoto para sistemas solares fotovoltaicos autónomos. Recuperado el 8 de Octubre de 2019, de *REVISTA DE INVESTIGACIÓN*,

<https://doi.org/10.19053/20278306.v7.n2.2017.6104>

Gstriatum. (2014). *Tipos de Paneles Solares – Ventajas y Desventajas*. Recuperado el 15 de Diciembre de 2019, de : <https://gstriatum.com/2014/07/24/tipos-de-paneles-solares-ventajas-y-desventajas/>

Guerrero. (2017). *Replanteo y funcionamiento de las instalaciones solares fotovoltaicas*. Recuperado el 20 de Diciembre de 2019, de: <https://books.google.com.ec/books?id=-wpADwAAQBAJ>

Hernández, A. L. (s/f). *GEOSOL: UNA HERRAMIENTA COMPUTACIONAL PARA EL CÁLCULO DE COORDENADAS SOLARES Y LA ESTIMACIÓN DE IRRADIACIÓN SOLAR HORARIA*. Recuperado el 1 de Diciembre de 2019, de: https://www.icesi.edu.co/revistas/index.php/sistemas_telematica/article/view/1075

Idae. (Febrero de 2009). *Pliego de Condiciones Técnicas de Instalaciones Aisladas de Red*. Recuperado el 3 de Enero de 2020, de: https://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_5654_FV_Pliego_aisladas_de_red_09_d5e0a327.pdf

Inieco. (2011). *Montaje eléctrico y electrónico en instalaciones solares Fotovoltaicas*. Málaga: VÉRTICE S.L.

Instalectra. (Marzo de 2016). *El interruptor diferencial*. Recuperado el 22 de Diciembre de 2019, de: <http://www.instalectra.org/Revistas/1del2016.pdf>

Levante. (2019, junio 26). *Autoconsumo fotovoltaico: Ventajas y desventajas*. Recuperado el 27 de Octubre de 2019, de: <https://www.levante->

emv.com/energia/2019/04/03/autconsumo-fotovoltaico-ventajas-desventajas/1857427.html

Lamigueiro. (Marzo de 2013). *Energía solar fotovoltaica*. Recuperado el 30 de Diciembre de 2019, de: https://www.researchgate.net/profile/Oscar_Perpinan_Lamigueiro/publication/249012821_Energia_Solar_Fotovoltaica/links/02e7e51e80783f1d9f000000/Energia-Solar-Fotovoltaica.pdf

Luthander, R., Widén, J., Nilsson, D., & Palm, J. (2015). Photovoltaic self-consumption in buildings: A review. *Applied Energy*, 142(C), 80–94. Recuperado el 8 de Enero de 2020, de: https://econpapers.repec.org/article/eeeappene/v_3a142_3ay_3a2015_3ai_3ac_3ap_3a80-94.htm

Manzano, Peña, Ortiz, & Guevara. (17 de Octubre de 2014). *Plataforma Cloud para monitoreo remoto de sistemas fotovoltaicos aislados en el Ecuador*. Recuperado el 10 de Enero de 2020, de: <https://pdfs.semanticscholar.org/3dbe/3d7c87c5d004d187b78fe508c7a6a94c7052.pdf>

Mateo, V. M. (2015). *Instalaciones Generadoras Fotovoltaicas*. Ediciones Paraninfo, S.A.

Mesa, J., Escobar, A., & Hincapie, R. (2009). DESCRIPCIÓN Y ANÁLISIS DEL EFECTO FOTOVOLTAICO EN LA REGIÓN. *Scientia et Technica Año XV*, 332.

Moreno díaz, I. (2017). Estado del arte sobre diseño y Dimensionamiento de microrredes eléctricas. [ebook] sevilla: Universidad de sevilla, pp.40-41. Recuperado el 4 de Enero de 2020, de: <https://sci->

- Hub.tw/<https://idus.us.es/xmlui/handle/11441/74374> [accessed 29 nov. 2018].
- Muñiz, J. M. M., & García, R. C. (2008). *Energía solar fotovoltaica*. Fundación Confemetal. NEC. (6 de Abril de 2011). *Capítulo 14*. Recuperado el 15 de Enero de 2020, de Energías Renovables: <https://inmobiariadja.files.wordpress.com/2016/09/nec2011-cap-14-energias-renovables-021412.pdf>
- Palomino, Á. (2012). *Análisis de los datos técnicos de los inversores fotovoltaicos de conexión a red*. Recuperado el 7 de Diciembre de 2019, de: <https://e-archivo.uc3m.es/handle/10016/16894>
- Paredes, J. R. (2018). *Energías renovables variables y su contribución a la seguridad energética: 62*. Recuperado el 18 de Septiembre de 2019, de: <https://webimages.iadb.org/publications/spanish/document/Energ%C3%ADas-renovables-variables-y-su-contribuci%C3%B3n-a-la-seguridad-energ%C3%A9tica-Complementariedad-en-Colombia.pdf>
- Parra, D., Walker, G. S., & Gillott, M. (2014). Modeling of PV generation, battery and hydrogen storage to investigate the benefits of energy storage for single dwelling. *Sustainable Cities and Society*, 10, 1–10. Recuperado el 13 de Octubre de 2019, de: <https://doi.org/10.1016/j.scs.2013.04.006>
- Pérez, R. G. (2019). *Replanteo y funcionamiento de instalaciones solares fotovoltaicas. ENAE0108*. IC Editorial.
- Orellana, I., & Quimis, G. (2015). *DIMENSIONAMIENTO DE UNA INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA DE GENERACION DISTRIBUIDA AISLADA DE LA RED PARA AUTOCONSUMO CON SISTEMA DE ALMACENAMIENTO EN UNA VIVIENDA UNIFAMILIAR EN LA PROVINCIA DEL GUAYAS Y ANALISIS DE VIABILIDAD*

- TÉCNICA Y ECONÓMICA*. Recuperado el 8 de Octubre de 2019, de:
<https://www.dspace.espol.edu.ec/retrieve/89132/D-84593.pdf>
- QKSOL Energy. (2016). AUTOCONSUMO FOTOVOLTAICO CON BATERÍAS: DIFERENCIAS ENTRE INVERSORES HÍBRIDOS On-Grid Y INVERSORES CARGADORES Off-Grid. *QKSOL - Energy Solutions*. Recuperado el 29 de Septiembre de 2019, de: <https://qksol.com/diferencias-entre-inversores-hibridos-y-inversores-cargadores/>
- Quetzal Ingeniería. (2016, junio 7). 3 clases de instalaciones fotovoltaicas con baterías. *Quetzal Ingeniería*. Recuperado el 10 de Diciembre de 2019, de: <https://www.quetzalingeneria.es/3-clases-de-instalaciones-fotovoltaicas-con-baterias/>
- Raboso. (Noviembre de 2012). *Diseño de un sistema Fotovoltaico para alimentar una potabilizadora desalinizadora autónoma*. Recuperado el 18 de Diciembre de 2019, de: https://dspace.unia.es/bitstream/handle/10334/2508/0447_Raboso.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Renlux-paneles-fv.pdf*. (s/f). Recuperado el 13 de febrero de 2019, de <https://www.utpl.edu.ec/jorgeluisjaramillo/wp-content/uploads/2010/06/renlux-paneles-fv.pdf>
- Renova Energía. (2019). *Baterías de Ciclo Profundo*. Recuperado el 26 de Diciembre de 2019, de: <https://www.renova-energia.com/productos/baterias-de-ciclo-profundo/>
- Rodríguez, I. B., & Achedad, P. C. (2016). *Optimización de sistemas de generación distribuida de energía eléctrica con almacenamiento para pequeños consumidores mediante algoritmo PSO*. 153.

- Sanchez, L. E. B. (2018). *PROCESO DE GENERACION DE ENERGÍA ELÉCTRICA SOLAR PARA USO INDUSTRIAL CASO: PLANTA DE SECADO DE MINERAL NO METÁLICO*. 146. Recuperado el 28 de Marzo de 2019, de: <http://repositorio.unsa.edu.pe/bitstream/handle/UNSA/8046/ELMbezale.pdf?sequence=3&isAllowed=y>
- Santamaría, G., & Castejón, A. (2010). *Instalaciones solares fotovoltaicas*. Editex.
- SERRANO, J. C. (2016). *Configuración de instalaciones solares fotovoltaicas* (1ra Ed.). Paraninfo.
- Style, O. (2013). *Stand-Alone Solar Energy: Planning, sizing and installation of Stand-alone photovoltaic systems*. Oliver Style.
- Subramani, G., Ramachandaramurthy, V. K., Padmanaban, S., Mihet-Popa, L., Blaabjerg, F., & Guerrero, J. M. (2017). Grid-Tied Photovoltaic and Battery Storage Systems with Malaysian Electricity Tariff—A Review on Maximum Demand Shaving. *Energies*, 10(11), 1884. Recuperado el 10 de Octubre de 2019, de: <https://doi.org/10.3390/en10111884>
- TFG_Raquel_Cadenas_Heras_2014.pdf*. (s/f). Recuperado el 12 de febrero de 2019, de https://e-archivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/26248/TFG_Raquel_Cadenas_Heras_2014.pdf?sequence=1
- Tous, M. R. (2009). *Energía Solar Térmica*. Grupo Planeta (GBS).
- VALLINA, M. M. (2010). *Instalaciones solares fotovoltaicas 2ª edición 2018*. Ediciones Paraninfo, S.A.

- Velasco, D., & Trujillo, C. L. (2014). REVISIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS DE SISTEMAS DE ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA PARA APLICACIONES EN MICRO REDES. *Información tecnológica*, 25(2), 175–188. Recuperado el 7 de Enero de 2020, de: <https://doi.org/10.4067/S0718-07642014000200020>
- Villalva, M. G. (1983). *Energía Solar Fotovoltaica*. Saraiva Educação S.A.
- VILORIA, J. R. (2013). *Organización y control del montaje de instalaciones solares fotovoltaicas*. Ediciones Paraninfo, S.A.
- World Health Organization. (2017). *Recycling used lead-acid batteries*. Recuperado el 31 de Diciembre, de: <http://www.who.int/ipcs/publications/ulab/en/>
- Zhang, Y., Campana, P. E., Lundblad, A., & Yan, J. (2017). Comparative study of hydrogen storage and battery storage in grid connected photovoltaic system: Storage sizing and rule-based operation. *Applied Energy*, 201, 397–411. Recuperado el 27 de Octubre de 2019, de: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2017.03.123>

ANEXOS



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTROMECAÁNICA**

CERTIFICACIÓN

Se certifica que el presente trabajo fue realizador por los señores: **OLA DAQUILEMA, LUIS MIGUEL Y SALAS CALVA, JOSÉ ALEJANDRO**

En la ciudad de Latacunga a los 20 días del mes de enero del 2020.

Aprobado por:

Ing. Jiménez León Mario Polibio



Ing. Freddy Salazar
DIRECTOR DE CARRERA



Dr. Rodrigo Vaca
SECRETARIO ACADÉMICO