



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

UNIDAD DE GESTIÓN DE TECNOLOGÍAS

Implementación de un sistema fotovoltaico, para abastecer el circuito de iluminación de una vivienda en la ciudad de Puyo de la provincia de Pastaza

Punina Punina, Darwin Danilo

Departamento de Eléctrica y Electrónica

Carrera de Electrónica Mención Instrumentación & Aviónica

Monografía, previo a la obtención del título de Tecnólogo en Electrónica Mención Instrumentación y Aviónica

Ing. Sandoval Vizuite, Paola Nataly

Latacunga, 09 de septiembre del 2020



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

UNIDAD DE GESTIÓN DE  TECNOLOGÍAS

**DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA
CARRERA DE ELECTRÓNICA MENCIÓN INSTRUMENTACIÓN &
AVIÓNICA**

CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación, **“Implementación de un sistema fotovoltaico, para abastecer el circuito de iluminación de una vivienda en la ciudad de Puyo de la provincia de Pastaza”** realizado por la señor **Punina Punina, Darwin Danilo**, el cual ha sido revisado y analizado en su totalidad por la herramienta de verificación de similitud de contenido; por lo tanto cumple con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que lo sustente públicamente.

Latacunga, 09 de septiembre de 2020

Firma:

Una firma manuscrita en tinta azul, que parece ser la de Paola Nataly Sandoval Vizuete.

Ing. Sandoval Vizuete, Paola Nataly

C.C: 0503254005

Director

Document Information

Analyzed document PUNINA_DANILO.docx (D78470724)
Submitted 9/1/2020 11:29:00 PM
Submitted by
Submitter email ddpunina@espe.edu.ec
Similarity 2%
Analysis address pnsandoval.espe@analysis.orkund.com

Sources included in the report

SA	TESIS LINDAO FINAL 14 FEB.pdf Document TESIS LINDAO FINAL 14 FEB.pdf (D63928712)		1
W	URL: https://repository.unad.edu.co/bitstream/handle/10596/11352/10097742.pdf?sequence= ... Fetched: 9/1/2020 11:30:00 PM		3
W	URL: https://www.siemon.com/la/white_papers/08-10-17-normas-electricas.asp Fetched: 9/1/2020 11:30:00 PM		1
SA	TESIS DE GRADO_ QUINTANA ROBERTO.pdf Document TESIS DE GRADO_ QUINTANA ROBERTO.pdf (D65264865)		1
SA	b1b2d481ed70674ce554c70c042d95332556032f.pdf Document b1b2d481ed70674ce554c70c042d95332556032f.pdf (D72815571)		1
W	URL: https://noticiasdelaciencia.com//art/38391/la-importancia-de-la-energia-solar-en-l ... Fetched: 9/1/2020 11:30:00 PM		1
SA	TESIS_ WORD.docx Document TESIS_ WORD.docx (D37757048)		1

Firma:



Ing. Sandoval Vizuete, Paola Nataly

C.C: 0503254005

Director



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

UNIDAD DE GESTIÓN DE  TECNOLOGÍAS

**DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA
CARRERA DE ELECTRÓNICA MENCIÓN INSTRUMENTACIÓN &
AVIÓNICA**

AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

Yo, **Punina Punina, Darwin Danilo**, con cédula de ciudadanía **N° 1600877839**, declaro que este trabajo de titulación **“Implementación de un sistema fotovoltaico, para abastecer el circuito de iluminación de una vivienda en la ciudad de Puyo de la provincia de Pastaza”** es de mi autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos, y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Latacunga, 09 de septiembre de 2020

Firma:

PUNINA PUNINA, DARWIN DANILO

C.C: 1600877839



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

UNIDAD DE GESTIÓN DE  TECNOLOGÍAS

**DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA
CARRERA DE ELECTRÓNICA MENCIÓN INSTRUMENTACIÓN &
AVIÓNICA**

AUTORIZACIÓN

Yo, **Punina Punina, Darwin Danilo**, con cédula de ciudadanía N° **1600877839**, autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el presente trabajo de titulación **“Implementación de un sistema fotovoltaico, para abastecer el circuito de iluminación de una vivienda en la ciudad de Puyo de la provincia de Pastaza”** en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi responsabilidad.

Latacunga, 09 de septiembre de 2020

Firma:

Una firma manuscrita en tinta azul, que parece ser la del autor, Darwin Danilo Punina.

PUNINA PUNINA, DARWIN DANILO

C.C: 1600877839

DEDICATORIA

Este presente trabajo investigativo lo dedico principalmente a Dios, por haberme brindado salud, sabiduría, y dedicación permitiéndome llegar a cumplir mis metas de mi formación como profesional.

A mis padres y hermana que siempre me han forjado como la persona que soy en la actualidad; muchos de mis logros se los debo a ustedes entre los que incluye este. Me formaron con reglas y con algunas libertades, pero motivándome a alcanzar mis metas.

A mis abuelos y familia que me apoyaron incondicionalmente en la parte moral, logrando ser uno de mis grandes motivaciones para mi formación como ser humano y profesional

AGRADECIMIENTO

Agradezco principalmente a Dios por darme la fuerza y la perseverancia de seguir formándome como persona y del mismo modo a mis maestros quienes me compartieron sus conocimientos y me guiaron para formarme como un profesional de excelencia.

A mi padre Ángel P, mi madre Rosa P, y mi hermana Jennifer P, quienes son mi pilar y fortaleza para seguir cumpliendo mis objetivos que día a día se ven reflejados.

A mi enamorada Pamela M. por llegar a formar parte de mi vida brindándome su afecto y apoyo incondicional, en especial durante mi recuperación después del accidente, quien supo ser parte esencial durante el último ciclo de formación en la universidad.

A mis amigos de toda la vida quienes supieron hacer de mi estancia de formación sea la mejor, a mis compañeros de la carrera con quienes compartimos distintos momentos de alegría y de tristeza, pero siendo parte fundamental para formarme con carácter y solidaridad por los demás.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CARÁTULA.....	1
CERTIFICACIÓN.....	2
URKUND.....	3
AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD.....	4
AUTORIZACIÓN.....	5
DEDICATORIA.....	6
AGRADECIMIENTO.....	7
ÍNDICE DE CONTENIDOS.....	8
ÍNDICE DE TABLAS.....	12
ÍNDICE DE FIGURAS.....	13
RESUMEN.....	15
ABSTRACT.....	16

CAPÍTULO I**PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

1.1. Antecedentes.....	17
1.2. Planteamiento Del Problema.....	18
1.3. Justificación.....	18
1.4. Objetivos.....	19
1.4.1. Objetivo General.....	19
1.4.2. Objetivos Específicos.....	19
1.5. Alcance.....	19

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1.	Energía Solar Fotovoltaica	20
2.1.1.	Necesidades de la Energía Solar Fotovoltaica	21
2.1.2.	Eficiencia Energética	21
2.1.3.	Ventajas de la Energía Solar Fotovoltaica	22
2.1.4.	Aplicaciones de Sistemas Fotovoltaico	23
a.	Conectados a la Red (Grid connected) o SFCR.....	24
b.	Autónomos (off-Grid) o SFA.....	24
2.2.	Elementos De Un Sistema Fotovoltaico.....	25
2.2.1.	Panel Fotovoltaico.....	25
2.2.2.	Tipos de Paneles Solares	26
2.2.3.	Controlador de Carga Solar.....	28
2.2.3.1.	Funcionamiento del Controlador de Carga.....	28
2.2.3.2.	Tipos de Controladores de Carga Solar	29
a.	Regulador Tipo Serie.....	29
b.	Regulador Paralelo	29
c.	Regulador Tipo Modulador de Ancho de Pulso (PWM).....	30
d.	Regulador Controlador de Máxima Potencia (MPPT).....	30
2.2.4.	Baterías.....	31
2.2.4.1.	Tipos de Baterías	31
a.	Batería de Plomo-Ácido	31
b.	Baterías De Níquel – Cadmio	32
c.	Conexión Serie y Paralelo	32
2.2.5.	Inversor DC/AC.....	33

	10
a. Tensión de Funcionamiento.....	34
2.3. Circuito de Iluminación Domiciliaria.....	34
2.3.1. Red de Distribución Eléctrica Convencional.....	35
a. Red Eléctrica Inteligente.....	36
2.3.2. Normas de Instalaciones Eléctricas.....	37
2.3.3. Simbología Vigente en Ecuador.....	38
2.3.4. Conductor Eléctrico.....	40

CAPÍTULO III

DESARROLLO DEL TEMA

3.1. Toma de Ubicación Geográfica.....	44
3.1.1. Radiación Normal Directa.....	46
3.1.2. Hora Solar Pico.....	48
3.1.3. Orientación e Inclinación.....	49
3.2. Cálculos de consumo estimado y dimensionamiento de equipos para el sistema de iluminación de una vivienda.....	52
3.2.1. Dimensionamiento de los Equipos para el Sistema de Generación Fotovoltaica	55
3.2.2. Cálculo para Establecer el Número de Paneles Solares.....	55
3.3. Selección de Equipos para el Sistema Fotovoltaico.....	56
3.3.1. Selección de Módulo Fotovoltaico.....	56
3.3.2. Selección de Inversor de Corriente.....	57
3.3.3. Selección de Controlador de Carga Solar.....	59
3.3.4. Selección de Baterías.....	61
3.3.5. Selección de Conductores y Conectores.....	62

	11
3.3.6. Estructura y Soporte	64
3.3.7. Instalación de Equipos	65
3.3.8. Conexiones y Cableado Eléctrico.....	69
3.4. Plano Unifilar de la Vivienda	72
3.4.1. Pruebas de Funcionamiento	74
a. Potencia Medida del Panel Solar	74
b. Potencia Medida del Controlador Implementado.....	75
c. Mediciones de Potencia del Inversor.....	76
d. Tiempo de Descarga de Baterías.....	77

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. Conclusiones	80
4.2. Recomendaciones	80
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	82
ANEXOS.....	87

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Tipos de paneles fotovoltaicos con sus ventajas y desventajas	27
Tabla 2. Especificaciones técnicas de las baterías utilizadas en los sistemas fotovoltaicos.....	32
Tabla 3. Especificaciones generales de inversores DC/AC comerciales en función de la configuración.....	34
Tabla 4. Normas y estándares eléctricos nacionales e internacionales	37
Tabla 5. Simbología eléctrica básica unificadas ANSI Y32, IEC 60617, IEEE 315 Y CSA Z99.	39
Tabla 6. Código de colores de conductores.....	41
Tabla 7. Calibre de cable según el amperaje que soporta	41
Tabla 8. Resumen código eléctrico Nacional	42
Tabla 9. La radiación solar directa de cada mes y promedio anual que incide sobre el lugar donde se desarrolló el proyecto.....	47
Tabla 10. Insolacion Global mensual	49
Tabla 11. Resumen del cálculo de potencia estimada para el sistema de iluminación de una vivienda.....	53
Tabla 12. Información técnica del panel solar policristalino copex 150w.....	56
Tabla 13. Hoja de datos especificada por el fabricante del inversor de 500W de onda modificada	58
Tabla 14. Datos técnicos del controlador de carga solar	60
Tabla 15. Potencia suministrada por los paneles solares en un día con radiación solar óptima.	74
Tabla 16. Potencia proporcionada en un día parcialmente nublado.....	75
Tabla 17. Mediciones de potencia del controlador de carga solar	76
Tabla 18. Comparación de rendimiento del inversor de corriente AC-DC	77
Tabla 19. Comparación de autonomía de acumulador de 100Ah en un sistema de 24V	78

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Irradiación solar global de Ecuador	20
Figura 2. Ventajas de la energía solar fotovoltaica	23
Figura 3. Clasificación de redes fotovoltaicas.....	24
Figura 4. Esquema de instalación fotovoltaica autónoma.....	25
Figura 5. Símbolo de un convertidor DC-DC o controlador de carga	28
Figura 6. Controlador de carga PWM	30
Figura 7. Controlador de carga MPPT.....	31
Figura 8. Características generales para la selección de un inversor DC/AC.....	33
Figura 9. Intensidad Luminosa	35
Figura 10. Red de transmisión y distribución de electricidad	36
Figura 11. Posibles fallas de un circuito eléctrico	38
Figura 12. Características de cualquier circuito eléctrico	40
Figura 13. Elementos de una instalación eléctrica estándar	43
Figura 14. Vista de relieve del mapa con coordenadas geográficas del lugar donde se implementó del proyecto	44
Figura 15. Vista de satélite del mapa con coordenadas geográficas del lugar donde se implementó del proyecto	45
Figura 16. Irradiación solar promedio del lugar donde se desarrollo el proyecto que fue obtenido de la pagina web de la NASA.....	46
Figura 17. Pasos para obtener los valores de radiación directa de todos los meses del año en la página web de la NASA	47
Figura 18. Radiación normal directa anual sobre la ubicación donde se implementó el proyecto	48
Figura 19 Normas y estándares eléctricos nacionales e internacionales	50
Figura 20. Interpretación de la declinación solar perpendicular con la línea ecuatorial.....	50
Figura 21. Graduador utilizado como un inclinómetro básico para calcular ángulos de las superficies	51
Figura 22. Paneles policristalinos de 150W de la marca copex.....	57
Figura 23. Inversor de corriente Power Inverter de 500w	58
Figura 24. Controlador de carga solar PWM de 30A	59
Figura 25. Instrucciones de la pantalla del controlador de carga solar PWM de 30A.....	60
Figura 26. Batería de gel OMEGA NPG100-12 de 12V 100Ah.....	62
Figura 27. Conectores mc4 doble para enlazar paneles solares	63

Figura 28. Conexión de los paneles solares en serie	63
Figura 29. Perfil de aluminio para el soporte de los paneles fotovoltaicos	64
Figura 30. Estructura y platinas de sujeción para los paneles solares	65
Figura 31. Diagrama de conexión de los dispositivos hacia el controlador de carga	66
Figura 32. Conexión de baterías de gel OMEGA de 12V 100Ah en serie.....	67
Figura 33. Interconexión de paneles mediante conectores mc4	68
Figura 34. Módulos fotovoltaicos instalados en el techo de la vivienda	68
Figura 35. Centro de carga de la vivienda	69
Figura 36. Diagrama eléctrico del centro de carga con adaptación del selector de tres posiciones.....	69
Figura 37. Selector de tres posiciones en la caja de distribución del inmueble.....	71
Figura 38. Empalme de los ramales del circuito de iluminación.....	72
Figura 39. Plano unifilar del domicilio	73
Figura 40. Nivel de carga del acumulador	79

RESUMEN

El presente proyecto consiste en la implementación de un sistema fotovoltaico autónomo para la generación de energía eléctrica sustentable mediante paneles solares, que tiene como finalidad reducir el costo de la planilla mensual del consumo de energía en el circuito de iluminación de la vivienda ubicado a las afueras de la ciudad de Puyo de la provincia de Pastaza. La electricidad suministrada por los módulos fotovoltaicos es regulada mediante un controlador de carga PWM de 30A, el cual normaliza la potencia a valores estándares de para cargar las baterías. Para poner en funcionamiento las luminarias del domicilio a 110V se transforma la corriente continua (DC) del sistema, en alterna (AC) mediante un inversor. En cuanto a la autonomía los datos obtenidos se basaron en el consumo, utilizando en el día la energía que genera los paneles y durante la noche lo acumulado por las baterías hasta por unas 8 horas de uso continuo a la máxima carga. Además, se implementó un sistema híbrido que permite el funcionamiento de las lámparas con la red eléctrica estándar o la generada por los módulos fotovoltaicos independientemente una de otra, para casos de mantenimiento de los equipos o por no completar la carga de las baterías en caso de un clima desfavorable para el sistema. Los resultados obtenidos arrojaron un ahorro en la facturación del servicio eléctrico de hasta un 45%, cumpliendo satisfactoriamente con los objetivos propuestos.

PALABRAS CLAVE :

- **SISTEMA FOTOVOLTÁICO**
- **ELECTRICIDAD DOMICILIARIA**
- **ILUMINACIÓN DE LA VIVIENDA**

ABSTRACT

The present project consists of the implementation of an autonomous photovoltaic system for the generation of sustainable electrical energy by means of solar panels, which aims to reduce the cost of the monthly energy consumption bill in the lighting circuit of the house located on the outskirts of the city of Puyo in the province of Pastaza. The electricity supplied by the photovoltaic modules is regulated by a 30A PWM charge controller, which normalizes the power to standard values for charging the batteries. In order to put the lights of the house to work at 110V, the direct current (DC) of the system is transformed into alternating current (AC) by means of an inverter. As for the autonomy, the data obtained was based on the consumption, using during the day the energy generated by the panels and during the night the accumulated by the batteries for up to 8 hours of continuous use at maximum load. In addition, a hybrid system was implemented that allows the operation of the lamps with the standard electric network or the one generated by the photovoltaic modules independently from each other, for cases of maintenance of the equipment or for not completing the charge of the batteries in case of an unfavorable climate for the system. The results obtained showed a saving of up to 45% in the electricity service billing, fulfilling satisfactorily the proposed objectives.

KEY WORDS:

- **PHOTOVOLTAIC SYSTEM**
- **HOME ELECTRICITY**
- **HOUSE LIGHTING**

CAPÍTULO I

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Antecedentes

El departamento de eléctrica y electrónica de la Unidad de Gestión de Tecnologías perteneciente a la Universidad de las Fuerzas Armadas “ESPE” ha venido formando profesionales, innovadores y capaces de solventar las necesidades de la sociedad, implementando nuevas tecnologías sustentables y amigables con el medio ambiente. Es por ello que se ha planteado la implementación de paneles fotovoltaicos para generación de energía eléctrica, dando uso doméstico para abastecer el circuito de iluminación de una vivienda, aprovechando la radiación solar en la provincia de Pastaza y el Ecuador en general.

En la actualidad existen varios proyectos a nivel mundial, donde se considera a la energía solar como una fuente renovable e innovadora que a futuro podría suplantar a las fuentes que han sido utilizadas tradicionalmente, como son la hidroeléctrica y la termoeléctrica. En el Ecuador existen proyectos que se han enfocado en el uso de la energía solar como una alternativa a dos problemáticas: la contaminación ambiental y la escasez de petróleo a largo plazo. Uno de ellos ha dado sus primeros pasos, la nueva planta fotovoltaica de Galápagos en la Isla San Cristóbal gracias a la firma del Memorándum de Entendimiento con el Instituto Coreano de Desarrollo y Tecnología KIAT mediante el Ministerio de Electricidad y Energía Renovable del Ecuador. (ECUATRAN, 2018).

Normalmente en una vivienda convencional se hace uso de electrodomésticos básicos, e iluminación y ello conlleva altos costos en la factura, pero con la introducción de la energía solar, permite un beneficio económico reduciendo este costo notablemente, también fomentando una actitud ambiental responsable en la sociedad.

1.2. Planteamiento Del Problema

Ecuador, al estar situada en la línea ecuatorial casi en el centro del mundo, la intensidad de la radiación solar y su ángulo perpendicular hacia el sol, genera las condiciones ideales para implementar sistemas de energía solar fotovoltaica, ayudando a cubrir la demanda de energía en momentos que exista un déficit de la energía generada por las hidroeléctricas siendo la principal fuente de generación actualmente.

El consumo de energía eléctrica es indispensable para la vida cotidiana en el hogar o en la industria ya que los equipos necesitan de una fuente de energía eléctrica las 24 horas del día, y se ve reflejado en la factura por parte de la empresa que lo suministra, lo cual hace que sus costos no disminuyan, sino que cada vez sean más elevados.

El costo elevado de las facturas mensuales, en la planilla eléctrica de la vivienda ubicada en la ciudad de Puyo, debido a la difícil situación socioeconómica familiar, hace que sea difícil solventar estos y otros gastos de la canasta básica, por lo que se ha considerado importante implementar fuentes de energía alternativas, como es la fotovoltaica, aprovechando la fuente inagotable proveniente del sol, para suministrar de energía eléctrica al sistema de iluminación de la residencia. Además, este sistema ayudará a concientizar en cuanto al ahorro económico y ambiental en la zona.

1.3. Justificación

En la actualidad la utilización de energía eléctrica es constante y no se toma en cuenta la cantidad de energía que se gasta diariamente, una pequeña parte al ser desperdiciada en conjunto suma mucho dinero, el cual afecta al bolsillo y al medio ambiente, trayendo como consecuencia el elevado costo en factura de la planilla mensual.

La energía solar es una solución para solventar el suministro de energía eléctrica en el caso de que haya un déficit en la generación de energía en los centros hidroeléctricos, a causa de factores ambientales.

La implementación del sistema de generación de energía solar fotovoltaica, permitirá ahorrar dinero y sustentar en caso de déficit de la red eléctrica convencional para la iluminación y uso básico en una vivienda en la ciudad de Puyo perteneciente a la provincia de Pastaza. Ayudando a solventar el problema económico familiar.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo General

- Implementar un sistema fotovoltaico mediante paneles solares, para abastecer el circuito de iluminación de una vivienda.

1.4.2. Objetivos Específicos

- Analizar la situación actual de la vivienda y establecer las mejoras y condiciones de ubicación de los paneles solares.
- Examinar las características y especificaciones técnicas de los paneles solares.
- Implementar un sistema de generación eléctrica alternativa y ecológica mediante paneles fotovoltaicos.

1.5. Alcance

El presente proyecto se realizará en una vivienda ubicada en los alrededores de la ciudad de Puyo provincia de Pastaza, para fomentar una nueva cultura de conservación del medio ambiente mediante implementación de energías renovables, y a futuro llevar esta tecnología a las comunidades vulnerables remotos de la selva ecuatoriana que no tienen acceso a la electricidad para brindar una mejor calidad de vida.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Energía Solar Fotovoltaica

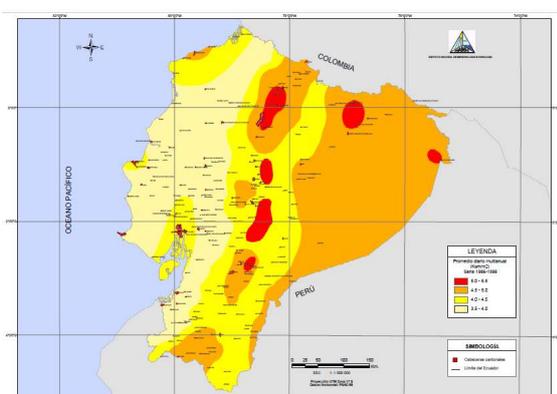
Según (Aguilar, Aledo y Quiles, 2016) la energía solar fotovoltaica se obtiene al captar la radiación del sol, el cual lo convierte en una fuente renovable de electricidad, mediante ciertos dispositivos semiconductores denominados células fotovoltaicas.

(Kannan, y Vakeesan, 2016) afirma que la energía solar fotovoltaica es una fuente renovable y que puede ser la mejor opción para el futuro de la humanidad porque es un recurso ilimitado y gratuito. En promedio el sol emite cerca de 3.8×10^{23} kW, de los cuales cerca de 1.8×10^{14} kW son atraídos por la superficie del planeta.

Como se muestra en la figura 1, Ecuador cuenta con irradiación solar suficiente y constante para aplicaciones energéticas, debido a su ubicación geográfica, puede ser aplicada para la producción de energía eléctrica; residencial, bajo ciertas circunstancias suele ser más económica que la suministrada desde la red eléctrica convencional (Barzola & Rubini, 2015).

Figura 1

Irradiación solar global de Ecuador



Nota: (Maldonado, s. f.)

2.1.1. Necesidades de la Energía Solar Fotovoltaica.

En la actualidad la energía solar está en auge ya que tiene multitud de utilidades, en lo que a aprovechamiento energético se refiere, son dos los usos más relevantes que se le da a este tipo de energía, por un lado, la producción de electricidad mediante paneles solares fotovoltaicas y, por otro lado, el calentamiento del agua mediante calefones solares para su consumo. (Lamigueiro, 2018)

Debido a la gran demanda de energía eléctrica, la generación de energía solar fotovoltaica es más idónea para revolucionar el sistema eléctrico a nivel mundial. De alrededor del 2% en 2016, la proporción de electricidad global generada a partir de energía solar fotovoltaica crecerá hasta un 13% para 2030, según la agencia internacional de energía renovable (IRENA, 2016).

El mundo está en constante cambio, y por consecuencia la sobrepoblación es uno de los aspectos que a futuro se verá reflejado en el consumo excesivo de servicios básicos, como es la energía eléctrica, además se terminaran las fuentes de energías no renovables. Siendo más que una necesidad la implementación de nuevas fuentes de energía renovables, como es la fotovoltaica, para abastecer la demanda mundial (MIT, 2015).

2.1.2. Eficiencia Energética

La eficiencia energética es aquel que estudia el consumo y abastecimiento inteligente de energía eléctrica, por lo tanto, la implementación de sistemas fotovoltaicos si es eficiente desde el punto de vista energético, ya que genera y se consume electricidad en el mismo lugar disminuyendo considerablemente las pérdidas por distribución (Osorio, 2016).

El factor clave para reducir las emisiones de gases de invernadero, amenazas de cambios climáticos y altos costos energéticos, es hacer más con menos energía lo cual

beneficia a la población, el ambiente y la economía de manera global, es por ello la importancia del mejoramiento de la eficiencia energética en nuestros hogares, negocios, industrias y otros sectores, con energías renovables (Badii, Guillen y Abreu, 2016).

Según, (NCYT®, Amazings, 2020) para equilibrar la eficiencia energética es importante conocer como está estructurado todo el sistema en sí. Casi todos los paneles solares transforman entre 15% - 20% la energía solar en electricidad. Además, con la revolución tecnológica mejoran y producen nuevos paneles experimentales y pueden convertir hasta un 40% de la energía solar en electricidad.

2.1.3. Ventajas de la Energía Solar Fotovoltaica

La generación de energía es limpia y gratis lo cual es una preferencia, esta tecnología se va incrementando cada año especialmente en zonas rurales lejanas donde no llega la red eléctrica, y en residencias de bajos recurso en las ciudades, con el fin de reducir el impacto económico de esta población, y entre otros aspectos que también son notables como se muestra en la figura 2 el cual describe las aplicaciones de esta tecnología (Useche y Rodriguez, 2016).

La energía fotovoltaica, se convierte directamente la energía solar en electricidad, lo cual el desarrollo sustentable tiene ventajas en diferentes aspectos como; económico, ambiental, y social, y por lo tanto se describe las ventajas más relevantes:(Guayanlema et al., 2018) (Useche Rivera & Rodriguez Barbosa, 2016).

Figura 2

ventajas de la energía solar fotovoltaica



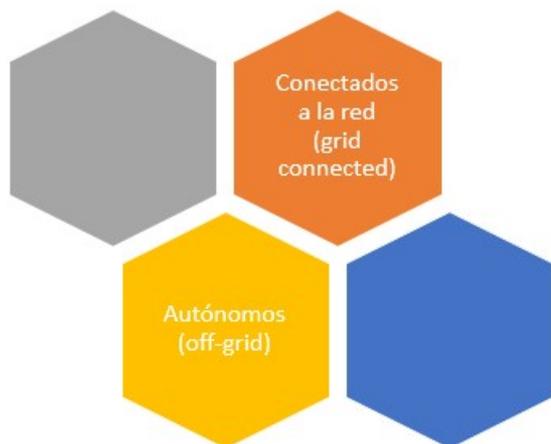
Nota: (Useche Rivera & Rodriguez Barbosa, 2016).

Un tema muy delicado es la contaminación del planeta por el uso inadecuado de los combustibles no renovables, para ello se debe hacer conciencia en optar por energías limpias no afecte al medio ambiente. (Badii et al., 2016) afirman que extraer combustibles de origen fósil como el petróleo y el gas contamina las fuentes de las agua subterránea. Esto repercute en la contaminación del medio ambiente y el ser humano.

2.1.4. Aplicaciones de Sistemas Fotovoltaico

Las aplicaciones son muy variadas que se dan desde la generación de electricidad a gran escala y hasta pequeños dispositivos electrónicos. Este sistema se puede adaptar a la necesidad del usuario, como por ejemplo generar electricidad para suministrar a la red, sistemas autónomos de iluminación, explotaciones agrícolas, dispositivos con carga solar entre otras (Lamigueiro, 2018).

La primera forma de clasificar es distinguiendo las aplicaciones conectadas a las red eléctrica e instalaciones aisladas. (Lamigueiro, 2018) menciona que se puede clasificar en dos tipos de acuerdo a la aplicación ver figura 3:

Figura 3*Clasificación de redes fotovoltaicas*

Nota: (Lamigueiro, 2018)

a. Conectados a la Red (Grid connected) o SFCR.

Es un sistema cuya función es producir energía eléctrica en condiciones adecuadas para poder suministrar a la red convencional. Para el correcto acoplamiento a la red este sistema cuenta con un inversor el cual adecúa la potencia del generador fotovoltaico en energía análoga y así el aprovechamiento óptimo de la electricidad y, en efecto, no necesita incorporar ningún equipo de acumulación de energía (Lamigueiro, 2018).

En países de primer mundo como Alemania, Japón, china o EE. UU, cada vez más personas y empresas están implementando sistemas fotovoltaicos y conectados a la red, ya sea para ahorrar electricidad o para estabilidad al consumo en las horas pico u otros por conciencia ambiental, al verse enfrentados por la contaminación presente. (Santos, s. f.)

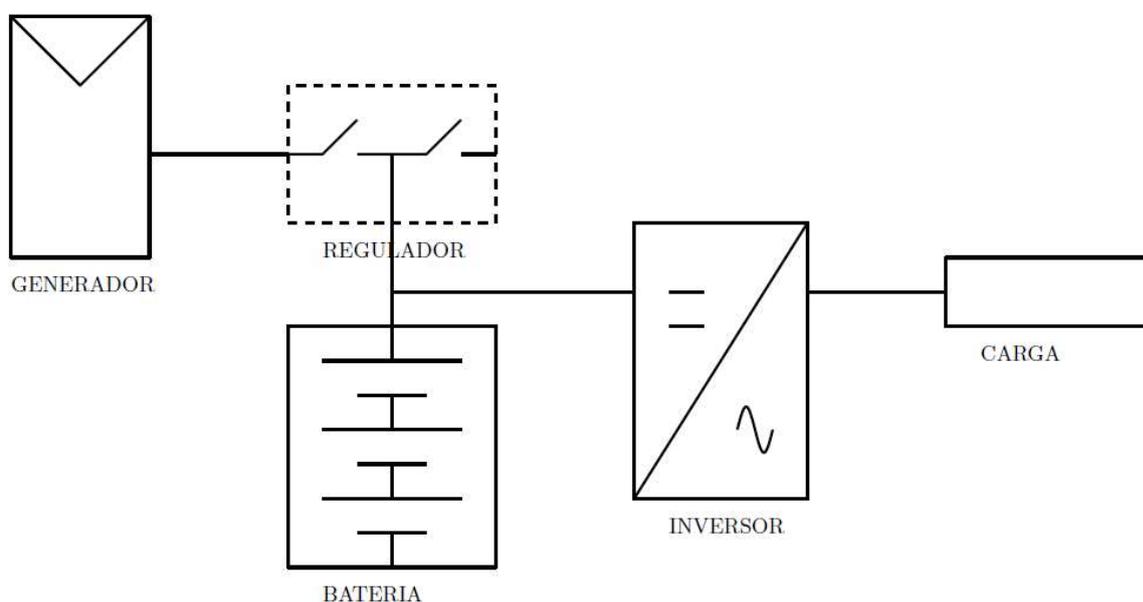
b. Autónomos (off-Grid) o SFA.

El principal objetivo de este sistema es satisfacer una demanda energética determinada que no va conectada a la red. Para esto se emplea ciertos componentes: un medio de acumulación energético, un regulador de carga y descarga y un inversor, que es utilizado

específicamente en electrificación rural y para uso doméstico. Para la implementación de este sistema es necesario hacer un estudio de acuerdo la capacidad y consumo. Estas instalaciones se pueden dar en cualquier lugar, específicamente en lugares donde no se tiene acceso a la red eléctrica comercial y el diagrama básico de este sistema se evocar en la figura 4 (Lamigueiro, 2018).

Figura 4

Esquema de instalación fotovoltaica autónoma



Nota: (Lamigueiro, 2018).

2.2. Elementos De Un Sistema Fotovoltaico.

2.2.1. Panel Fotovoltaico

Un panel fotovoltaico está formado por la interconexión de varias células, en serie y paralelo debido a su baja potencia se asocian las células en serie, se suma el voltaje de cada una y se mantiene la misma corriente, los módulos típicos utilizados para cargar una batería de 12 voltios están constituidos por 30, 33 o 36 células en serie. (Quishpe & Jaime, 2015).

El módulo o panel fotovoltaico capta la radiación solar y la transforma en electricidad de corriente continua DC. Para obtener la potencia necesaria de las cargas a conectar, se debe determinar el número de paneles a partir de la radiación del lugar donde se va implementar (Quiceno & Álvarez, 2017).

2.2.2. Tipos de Paneles Solares

Un módulo solar está formado por varias células solares, para obtener la corriente necesaria, de esta forma aprovechar en el funcionamiento de los equipos eléctricos. Cada panel solar es la unidad básica de una instalación fotovoltaica, los tipos que se encuentran en el mercado dependen de las células con las que están fabricadas, por lo general se basan en celdas de silicio (Acevedo, 2016).

Tabla 1

Tipos de paneles fotovoltaicos con sus ventajas y desventajas.

TIPO DE PANEL	DESCRIPCIÓN	EFICIENCIA	VENTAJAS	DESVENTAJAS
Monocrystalino 	Es el más conocido, por ser el más eficiente y además a lo largo de los años ha tenido un alto desarrollo tecnológico, cada módulo es creado a partir de un solo cristal de silicio puro, en la actualidad siendo uno de los paneles con más años en su desarrollo (Pacheco et al., 2018)	15% al 22%.	Hasta 25 años de operación Resistencia a altas temperaturas. No requiere de mucho espacio en la instalación (Pacheco et al., 2018)	Costo es elevado a comparación de otros tipos de paneles. Son muy frágiles (Pacheco et al., 2018)
Policristalino 	A diferencia de los otros son más económicos, pero no son tan eficientes, al estar hechos de cristales de silicio unidos entre sí. La capacidad de generación de este tipo de panel es de 5W a 250W e incluso más, y se caracteriza por el color azul de sus células (Pacheco et al., 2018)	13% al 18 %	Manufactura simple, más rentable económicamente. Gracias a su considerable desarrollo tecnológico, tiene un tiempo de vida útil de 25 años (Pacheco et al., 2018)	Requiere mucho espacio para producir la misma cantidad de energía, que con un solo panel monocristalino. (Pacheco et al., 2018)
Amorfo 	Están constituidos de varias capas de material fotovoltaico en una base. Dependiendo del material los paneles pueden ser de capa fina de silicio amorfo (a-si), de telurio de cadmio (CdTe), de indio, Selenio y Galio. Se caracteriza por ser flexibles y livianas.(Planas, 2017).	7% al 13%	Más barato que los paneles cristalinos, por su proceso de fabricación sencillo. No afecta el funcionamiento por las altas temperaturas. Se puede utilizar como cubiertas flotantes de depósitos solares para reducir la evaporación del agua (Pacheco et al., 2018).	Su duración es corta contra los cristalinos, su degradación es muy rápida. Requieren de más espacio para generar una cantidad de energía eléctrica considerable (Pacheco et al., 2018).

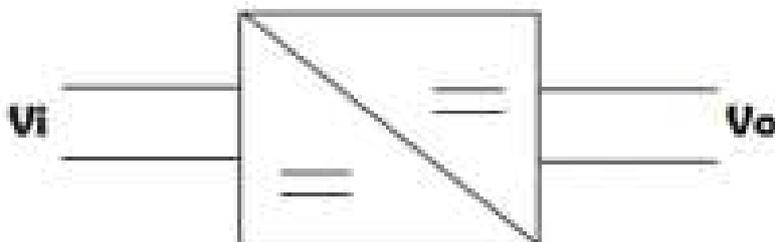
2.2.3. Controlador de Carga Solar

El controlador, o regulador es aquel controla la corriente de carga y descarga, asegurando así que trabaje con mayor eficiencia e impidiendo el daño irreversible de las baterías, además protege las cargas en operación que estén conectadas, asegurando todo el sistema, en la figura 5 se puede contemplar el símbolo del controlador de carga.(Fernández, 2017).

Según, (Vélez, 2015) los controladores son sistemas electrónicos que contienen componentes pasivos como: bobinas y capacitores; que en conjunto cumple la función de regular un voltaje deseado frente a variaciones del voltaje de entrada, aumentando la vida útil de las baterías.

Figura 5

Símbolo de un convertidor DC-DC o controlador de carga



Nota: (Vélez, 2015).

2.2.3.1. Funcionamiento del Controlador de Carga

Los reguladores son un sistema, con un circuito censor que regula el flujo de corriente hacia el acumulador o batería y cuando la tensión sobrepasa el límite establecido, los reguladores se desconectan de la batería, y cuando la batería se descarga el regulador conecta

los módulos nuevamente evitando así dañar el acumulador y el proceso es cíclico (Fernandez, 2017).

2.2.3.2. Tipos de Controladores de Carga Solar

Según, (Acevedo, 2016) todos los controladores de carga se basan en dos tecnologías; tipo serie y paralelo, en efecto se encuentran en diferentes versiones según su funcionamiento durante diferentes etapas de carga de los acumuladores de carga.

a. Regulador Tipo Serie

Están instalados en serie entre los paneles solares y las baterías, basándose en el estado de carga, es decir cuando se ha cargado completamente la batería, el regulador se desconecta mediante un interruptor, impidiendo que alcance a altos niveles de voltaje y a consecuencia exista una sobrecarga. De la misma manera, cuando la batería se descarga, impide que llegue hasta cierto nivel bajo de voltaje evitando el daño permanente del mismo (Acevedo, 2016).

b. Regulador Paralelo

Este tipo de regulador están instalados en paralelo entre el panel solar y las baterías, y se basan principalmente en un circuito de carga, es decir, una resistencia disipadora que opera cuando se ha cargado completamente la batería, y recibe la energía generada de los paneles fotovoltaicos desviando de las baterías para evitar sobrecargas, ya que están formado a base de circuitos con diodos que impiden corrientes inversas, desde las baterías hacia los paneles (Acevedo, 2016).

c. Regulador Tipo Modulador de Ancho de Pulso (PWM)

El regulador pwm, consiste en modificar el ciclo de trabajo de una señal de entrada ampliando o disminuyendo la duración de los tiempos siendo diferentes de cero. En otras palabras, controla la capacidad de corriente de carga de las baterías cuidando que no supere los niveles de voltaje máximo establecido. Se basa en transformar los ciclos de trabajo de la señal del voltaje de entrada proveniente desde los paneles, en un voltaje de salida igual al de la batería e suministrar corriente en cantidades adecuadas para cargar la batería, en la figura 6 se examina un controlador de carga pwm del fabricante blue solar (Acevedo, 2016).

Figura 6

Controlador de carga PWM.



Nota: (cumbrepueblos, 2019)

d. Regulador Controlador de Máxima Potencia (MPPT)

El regulador MPPT, es un convertidor DC-DC que sirve para elevar o reducir el voltaje de entrada proveniente de los paneles solares, manteniendo constante el voltaje de salida en cualquier instante. Es decir, aprovecha al máximo la radiación solar recibida durante todo el día, incluso en días nublados, por tal motivo pueda suministrar corriente constante para cargar las baterías constantemente (Acevedo, 2016).

Figura 7

Controlador de carga MPPT.



Nota: (cumbrepueblos, 2019)

2.2.4. Baterías

Las baterías, tiene como objetivo almacenar la energía eléctrica, de cualquier fuente de generación, permitiendo disponer energía eléctrica autónoma fuera de las horas luz o zonas remotas que no disponen de la red eléctrica, las utilizadas en sistemas fotovoltaicos se caracterizan por ser de ciclo profundo, es decir, soporta muchos ciclos de carga y descarga (Fernandez, 2017).

Así mismo, (Acevedo, 2016) describe a las baterías como equipos que transforman la energía eléctrica y lo almacena en forma de energía química, y consecuentemente son capaces de suministrar en manera de energía eléctrica, la anergia química almacenada anteriormente para su uso en cualquier instante.

2.2.4.1. Tipos de Baterías

a. Batería de Plomo-Ácido

Este tipo de baterías es actualmente muy utilizado por sus múltiples aplicaciones en vehículos como parte del sistema de arranque, es por ello se denominan baterías tipo SLI

(Starting, lighting, ignition), se basa en la reacción química entre el plomo y ácido sulfúrico como electrolito. El electrolito pueden ser en estado líquido o gel (Acevedo, 2016).

b. Baterías De Níquel – Cadmio

El tipo de batería níquel - cadmio son más eficientes que las de plomo – ácido, pero es más costoso y por ende no son muy utilizadas (Acevedo, 2016).

Tabla 2

Especificaciones técnicas de las baterías utilizadas en los sistemas fotovoltaicos.

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

Tipo de batería	Se clasifican según los materiales de construcción.
Capacidad nominal C_B	Es la cantidad de energía que puede almacenar la batería, en amperios hora Ah
Capacidad útil C_U	Cantidad de energía que puede suministrar la batería, sin afectar la vida útil.
Voltaje nominal V_{dc}	Voltaje de funcionamiento de la batería
Corriente nominal	Valor de corriente constante con la que se puede descargar en un tiempo determinado.
Eficiencia máxima	Es la relación entre la máxima potencia de salida y la máxima potencia de entrada de la batería.
Profundidad de descarga máxima PD	Relaciona la capacidad útil y la capacidad nominal de la batería, la descarga máxima
Número de ciclos	Periodos de carga y descarga que realiza la batería.

Nota: (Acevedo, 2016).

c. Conexión Serie y Paralelo

Para los sistemas fotovoltaicos autónomos es necesario suministrar la corriente suficiente para el funcionamiento correcto de los equipos por un tiempo determinado, por ende, la conexión de los bancos de baterías; la conexión en serie de dos baterías iguales permite

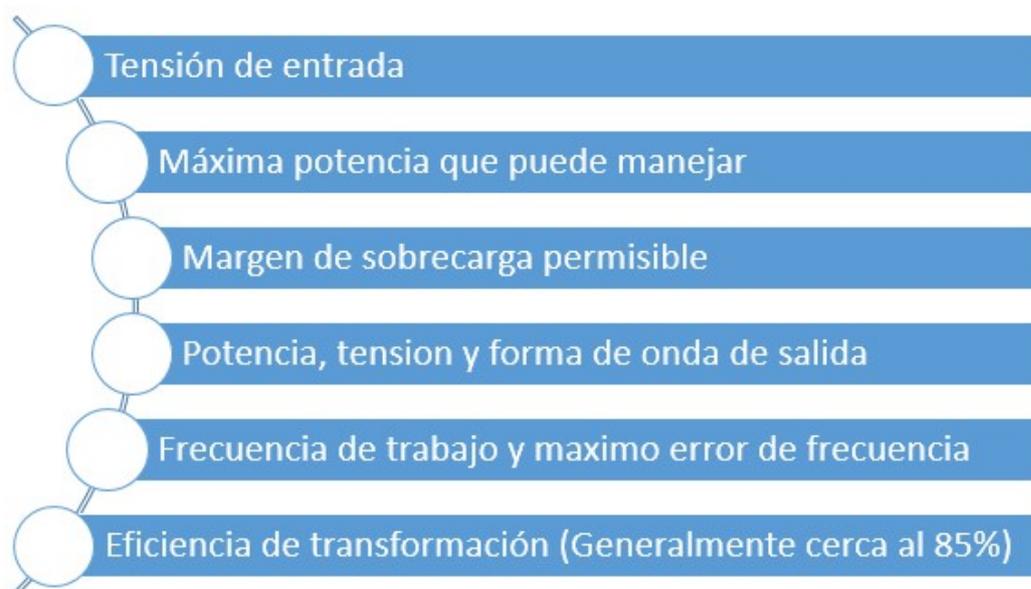
obtener el doble de voltaje normal de las baterías individuales, manteniendo la misma corriente, la conexión en paralelo de dos baterías admite obtener dos veces la corriente de las baterías individuales, manteniendo el mismo voltaje. Además, si se requiere mayor potencia es posible una conexión mixta serie-paralelo (Acevedo, 2016).

2.2.5. Inversor DC/AC

Los sistemas fotovoltaicos autónomos generan una corriente directa DC, pero para alimentar a los dispositivos es necesario una corriente alternar AC de 120 voltios a 60Hz, es por ello la función del inversor de corriente, el cual se caracteriza en adecuar la energía generada para la demanda en las instalaciones cotidianas. El cual es importante tomar en cuenta las características que se muestra en la figura 8 (Molina & Melchor, 2016).

Figura 8

Características generales para la selección de un inversor DC/AC.



Nota: (Molina & Melchor, 2016).

a. Tensión de Funcionamiento

Dado importancia de la industria fotovoltaica con lleva la construcción de equipos de potencia para sistemas de generación fotovoltaica, y se relaciona principalmente con la capacidad, la razón de la cual se puede establecer las particularidades técnicas del inversor. En resumen, englobando las instalaciones primordiales, se describen las características del inversor en la siguiente tabla (Álvarez, 2015).

Tabla 3

Especificaciones generales de inversores DC/AC comerciales en función de la configuración

Módulos de AC		Cadena	Multicadena	central
Escala	Pequeña	Media	Grande	Grande
Potencia	<350W	<10KW	<85KW	<500KW
Semiconductor	MOSFET	MOSFET- IGBT	MOSFET-IGBT	IGBT
Eficiencia	Buena	Buena	Alta	Alta
Características	Flexible y modular Dos etapas	Poco cableado Una etapa	Flexible y modular Dos etapas	Estructura Simple Uno o dos etapas
Ejemplos	Aurora	Danfoss		SMA MB
De equipos	Micro-0-3-1 Sistemas SM INV215R60	DLX 4.6 ABB PV8300		Power Platform SINVERT PVS630

Nota: (Acevedo, 2016).

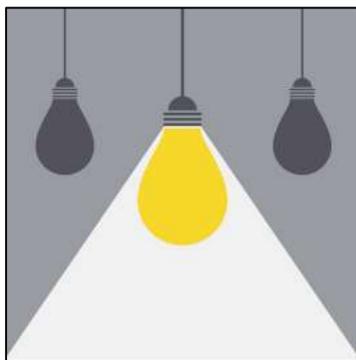
2.3. Circuito de Iluminación Domiciliaria

La iluminación eléctrica, es muy importante desde hace muchos años desde su descubrimiento, el cual el objetivo principal es simular la luz natural del día para ampliar las actividades del ser humano, donde la luz solar no es suficiente y específicamente en la noche. (González Jiménez et al., 2016).

Según (INSHT, 2015), la iluminación es parte de la vida cotidiana, el ser humano se adapta a diferentes tipos lumínicos, por lo cual la deficiencia de la misma puede producir un agotamiento visual, bajo rendimiento, un incremento en los errores, y en efecto puede causar accidentes.

Figura 9

Intensidad luminosa



Nota: (INSHT, 2015)

Un circuito de iluminación es aquel que transforma la energía eléctrica en luz visible mediante diferentes tipos de dispositivos, mayormente son las lámparas incandescentes, fluorescentes, led, y entre otros. El cual la red eléctrica hace posible distribuyendo la electricidad necesaria para el funcionamiento de correcto (INSHT, 2015).

Por ende, es importante un circuito de iluminación eficiente, de acuerdo a las necesidades para un óptimo rendimiento en las actividades diarias como en el trabajo o en el hogar.

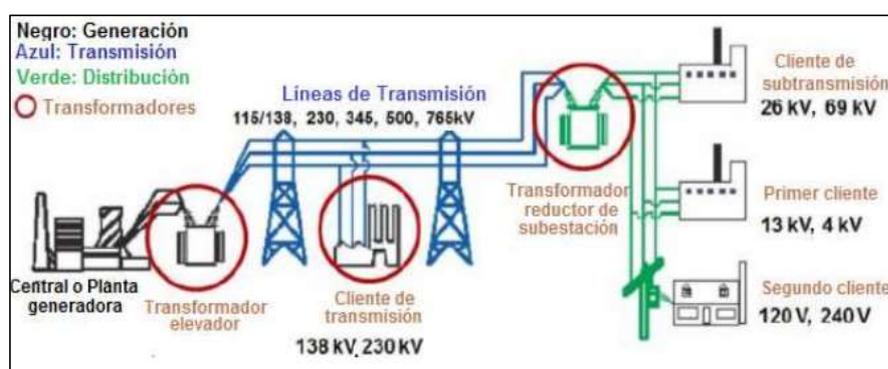
2.3.1. Red de Distribución Eléctrica Convencional.

Una red eléctrica es una red interconectada al conjunto de equipos, dispositivos, aparatos, barras y líneas que permite la distribución de una determinada tensión nominal (Calvo et al., 2017). Además, (Castillo, 2018) indica que después de la transformación de cualquier tipo

de energía en electricidad, a través de centrales eléctricas se puede llevar a cabo la generación de electricidad de alta tensión que se distribuye mediante distintas redes de transmisión, hacia intermediarias que tendrán que bajar a media y baja tensión. En la figura 10 se pautan la red de transmisión y distribución de la energía eléctrica convencional.

Figura 10

Red de transmisión y distribución de electricidad



Nota: (Castillo, 2018)

a. Red Eléctrica Inteligente

Con los avances tecnológicos el sector energético se está poniendo de moda gracias a las necesidades más exigentes en el consumo energético, que conlleva la transformación en la red eléctrica hacia un modelo inteligente, ecológico y más eficiente. Haciendo énfasis en la generación de energía renovable, siendo posible el monitoreo en tiempo real y asistencia mediante dispositivos electrónicos de potencia, inversores, controladores, sistemas embebidos, entre otros. (Calvo et al., 2017).

Mientras tanto, (Gómez et al, 2018) define a la red eléctrica inteligente (Smart Grid), como una red de líneas de transmisión, subestaciones y demás dispositivos que distribuyen electricidad desde la fuente hacia los usuarios finales, además del internet, como un sistema de

control mediante nuevas tecnologías trabajando en conjunto, para almacenar, comunicar y tomar decisiones casi sin la asistencia del ser humano.

2.3.2. Normas de Instalaciones Eléctricas

Las normativas eléctricas establecen las condiciones y regulaciones mínimas que debe cumplir una instalación eléctrica para salvaguardar la seguridad de la persona y de los bienes materiales. Al realizar las instalaciones eléctricas residenciales se lleva a cabo mediante equipos de alta tensión y pueden tener posibles fallos en su funcionamiento, es, por ello, los estándares de calidad en los equipos y las normativas para la aplicación e instalación de cualquier tipo de circuito eléctrico (Hidalgo et al., 2016).

Tabla 4

Normas y estándares eléctricos nacionales e internacionales

Normas Y Estándares Nacionales E Internacionales				
NFPA 70	CPE INEN	IEE 60617	NTE INEN	
National	019 Código	Graphical	2345	NTE INEN
Electrical	Eléctrico	Symbols for	Alambres y	3098
Code 2011	Ecuatoriano	Diagram	cables con	Voltajes
			aislamiento	Normalizados
			termoplástico	

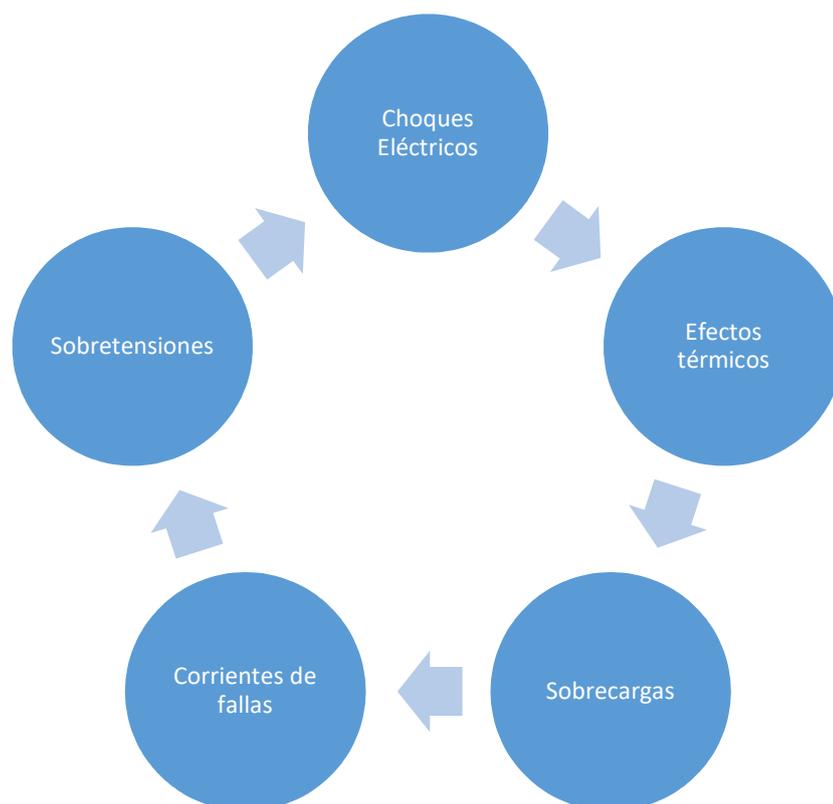
Nota: (NEC, 2018)

La importancia de las normas se debe al uso y manipulación inadecuada de la energía eléctrica, ya que incluso en la potencia mínima, puede ser un peligro para los seres vivos, existen dos tipos de riesgos mayores: la corriente de choque y las altas temperaturas; capaces de causar incendios y quemaduras (Aldama, 2017).

Los principales fundamentos para la protección, constituyen tomar las medidas apropiadas frente a los que se muestra en la figura 11.

Figura 11

Posibles fallas de un circuito eléctrico



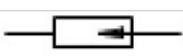
Nota: (Aldama, 2017).

2.3.3. Simbología Vigente en Ecuador

La empresa eléctrica Quito desde inicios del 2010 acuerda que se tiene que utilizar la simbología, y gráficos que se muestra en la tabla 5, del reglamento, el cual es un resumen de los más utilizados, tomados de las normas unificadas ANSI Y32, IEC 60617, IEEE 315 Y CSA Z99 (Pillajo & Quishpe, 2018).

Tabla 5

Simbología eléctrica básica unificadas ANSI Y32, IEC 60617, IEEE 315 Y CSA Z99

SIMBOLOGÍA	
	Luminaria 110v
	Tomacorriente 110v
	Interruptor sencillo
	Interruptor doble
	Sub – tablero o tablero general
	Luminaria aplique de pared
	Ojo de buey 220v
	Motor
	Luminaria con balastro
	Tierra
	Interruptor termo magnético
	Caja de conexiones
	Tomacorrientes uso general
	Luminaria Lámpara 3 focos
	Switch 2 polos
	Conductor fase, neutro, tierra
	Transformador
	Salida teléfono
	Pararrayos o puesta a tierra
	Interruptor diferencial

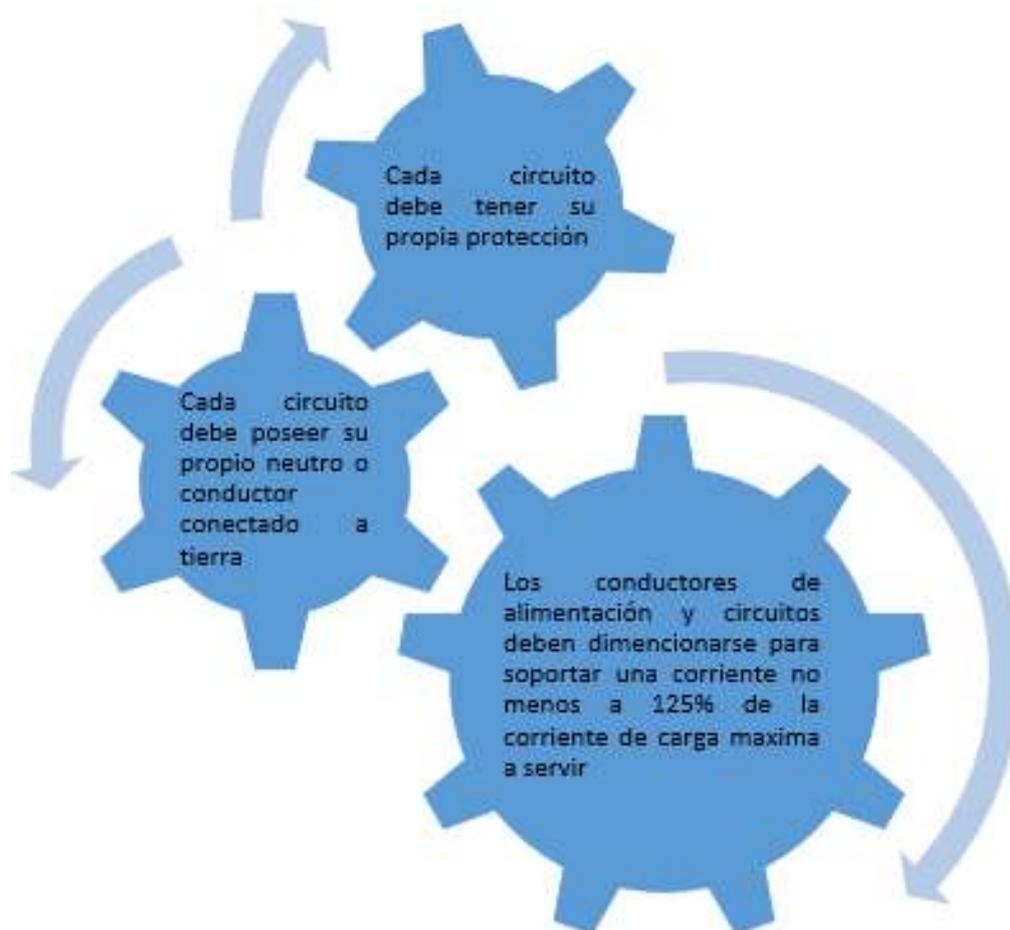
Nota: (Pillajo & Quispe, 2018)

2.3.4. Conductor Eléctrico

Toda vivienda debe tener un circuito independiente como es la iluminación, tomacorrientes y cargas especiales de alto consumo de corriente, que debe tener las siguientes características que se muestra en la figura 12. y ningún circuito debe compartir las mismas líneas o diferentes niveles de la vivienda, además el código de colores, el calibre y capacidad de corriente que soporta los conductores, por normativas ya son especificadas como se describe en las siguientes tablas 6 y 7 respectivamente (NEC, 2018).

Figura 12

Características de cualquier circuito eléctrico.



Nota: (NEC, 2018).

Tabla 6*Código de colores de Conductores*

CÓDIGO DE COLORES	
Conductor	Color
Neutro	Blanco
Tierra	Verde, verde con franja amarilla
Fase	Rojo azul, negro, amarillo o cualquier otro color diferente a neutro y tierra.

Nota: (NEC, 2018)

Tabla 7*Calibre de cable según el amperaje que soporta***AMPERAJE QUE SOPORTAN LOS CABLES DE COBRE**

Nivel de Temperatura	60 °C	75 °C	90 °C	60 °C	
Tipo de aislante:	TW	RHW, THW, THWN	THHN, XHHW-2, THWN-2	SPT	
Medida / calibre del cable	Amperaje soportado			Medida / Calibre del cable	Amperaje soportado
14 AWG	15 A	15 A	15 A	20 AWG	2 A
12 AWG	20 A	20 A	20 A	18 AWG	10 A
10 AWG	30 A	30 A	30 A		
8 AWG	40 A	50 A	55 A	16 AWG	13 A
6 AWG	55 A	65 A	75 A		
4 AWG	70 A	85 A	95 A		
3 AWG	85 A	100 A	115 A	14 AWG	18 A
2 AWG	95 A	115 A	130 A		
1 AWG	110 A	130 A	145 A		
1/0 AWG	125 A	150 A	170 A	12 AWG	25 A
2/0 AWG	145 A	175 A	195 A		
3/0 AWG	165 A	200 A	225 A		
4/0 AWG	195 A	230 A	260 A		

Nota: (Masvoltaje, 2016)

2.3.5. Instalación Básica De Una Vivienda Estándar

El código eléctrico nacional del Ecuador, CPE INEN 19:2001, tiene por consideración las condiciones mínimas de seguridad que deben cumplir las instalaciones eléctricas en bajo voltaje, con el fin de proteger a las personas que las manipulan o hace uso de ellas, proteger los equipos y evitar daños al medio ambiente donde se haya instalado. Por consiguiente, esta norma contiene requerimientos de seguridad, su acatamiento junto a un correcto mantenimiento, garantiza una instalación libre de riesgos (Parra, 2015).

En la tabla 8 se puede contemplar un resumen de código eléctrico Nacional del Ecuador, donde se describe como está constituido las secciones y los capítulos, además en la figura 13 se muestra los elementos que se requiere una instalación básica.

Tabla 8

Resumen del código eléctrico nacional

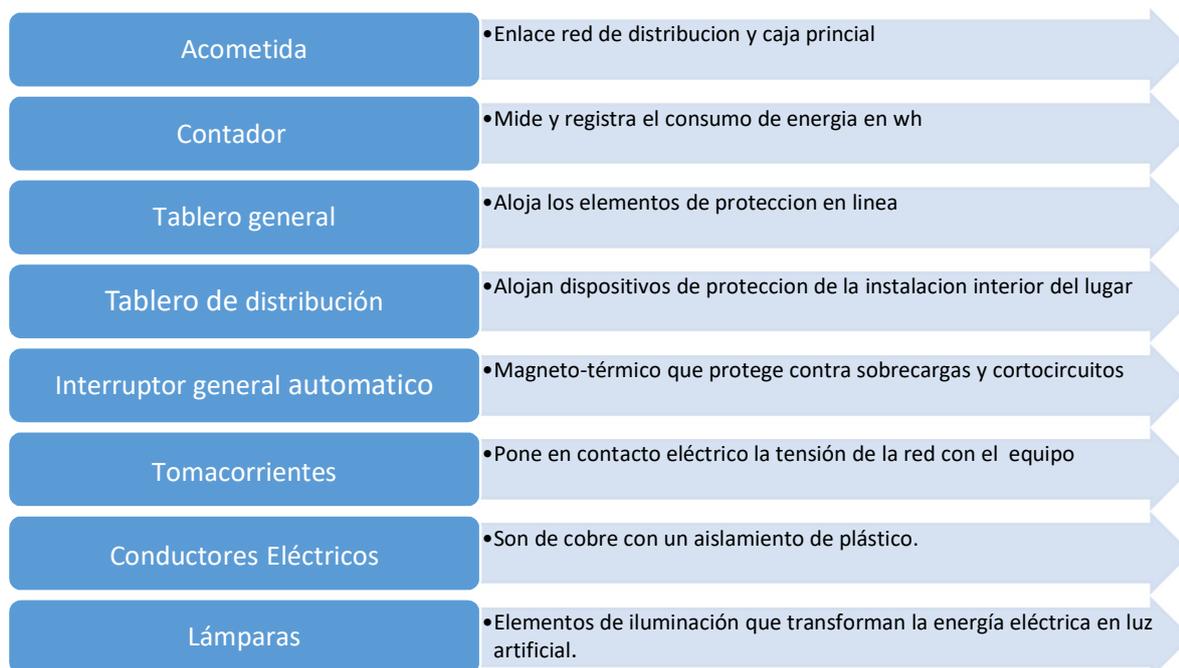
CÓDIGO ELÉCTRICO NACIONAL	
TÍTULO	SECCIÓN
Requisitos para las instalaciones Eléctricas	Capítulo 1 110
Montaje y ventilación de equipos	Capítulo 1 110-13, a), b)
Espacio alrededor de los equipos eléctricos (para 600 voltios nominales o menos)	Capítulo 1 110-16, a), b), c)
Protección de partes energizadas (de 600 voltios nominales o menos)	Capítulo 1 110-17, a), b), c)
Alimentadores	Capítulo 2 (Alumbrado y protección de las instalaciones eléctricas) 215, 215-2, 215-5, 215-6.
Equipos de aire acondicionado y refrigeración:	Capítulo 4 (Equipos para uso general) 440
-Corriente de selección del circuito ramal	440-2
-Motor de mayor potencia nominal	440-7
-Ubicación	440-14

-Selección y aplicaciones	440-22, a), b)
-Requisitos de los circuitos ramales	440-62
Generadores:	445
-Protección contra corriente	445-4, a)
-capacidad de corriente de los conductores	445-5
Instituciones de asistencia médica:	Capítulo 5 (Ambiente especiales)
-Definiciones	517, 517-3
-instalaciones de rayos X:	517-71, a), b)
- Conexión al circuito de suministro	
- Medios de desconexión	517-72, a), b)
- Equipos portátiles y móviles	517-75

Nota: (Parra, 2015).

Figura 13

Elementos de una instalación eléctrica estándar



Nota: (Pillajo & Quishpe, 2018)

CAPÍTULO III

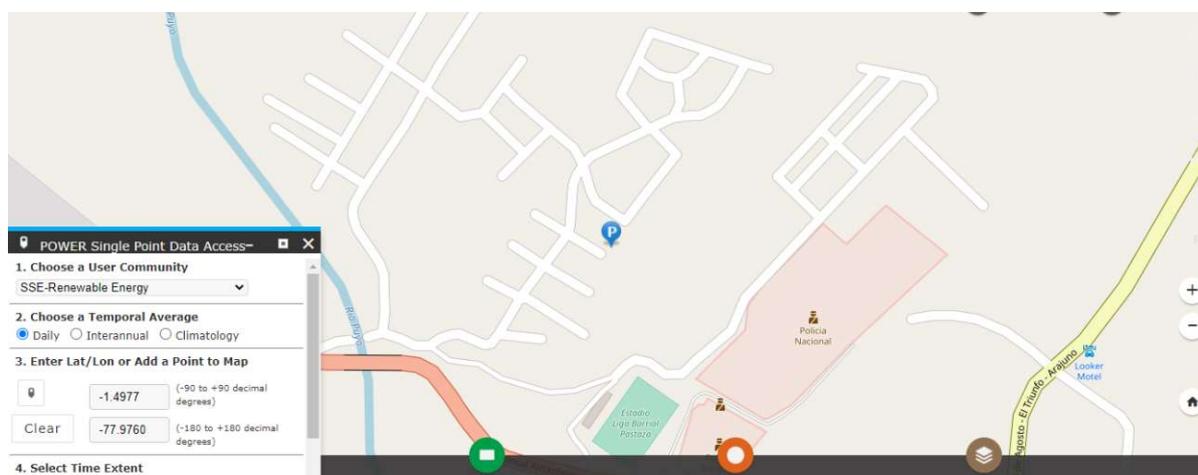
3. DESARROLLO DEL TEMA.

3.1. Toma de Ubicación Geográfica

En el presente proyecto se encuentra implementado en la ciudad de Puyo de provincia de Pastaza, las coordenadas que se tomaron en este punto referencial con la ayuda de un GPS son de latitud -1.4977 , longitud -77.9760 y con una elevación de 1230.15 metros sobre el nivel del mar como se muestra en la figura 14 y 15 respectivamente, mismo que se encuentra en la línea ecuatorial.

Figura 14

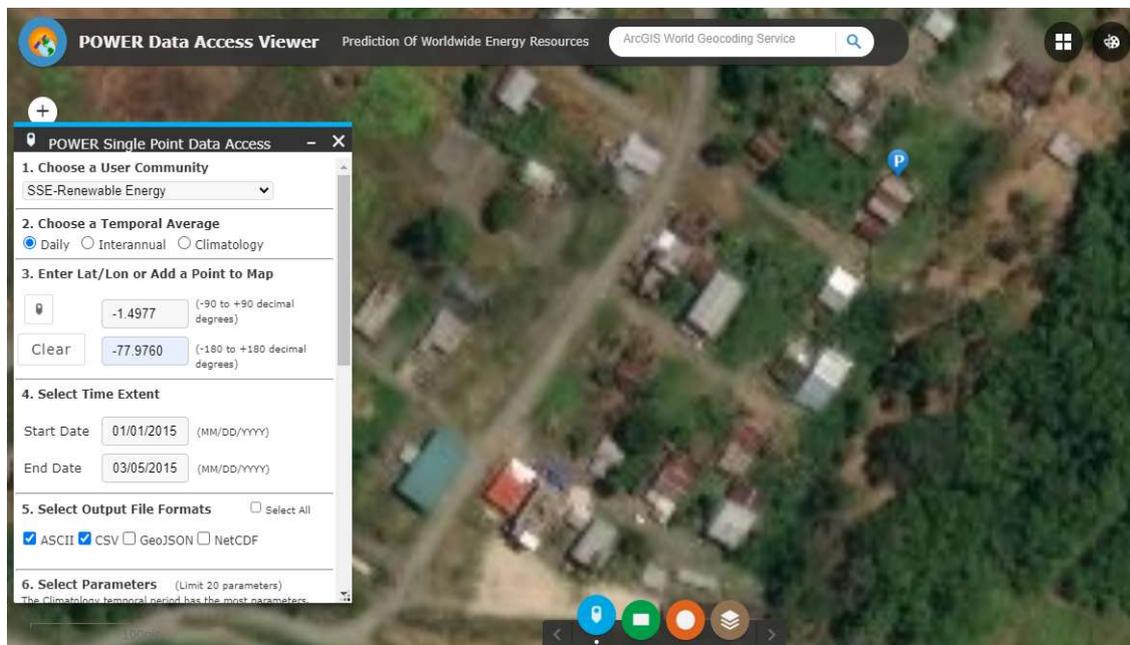
Vista de relieve del mapa con coordenadas geográficas del lugar donde se implementó del proyecto



Nota: (NASA, 2020)

Figura 15

Vista de satélite del mapa con coordenadas geográficas del lugar donde se implementó del proyecto

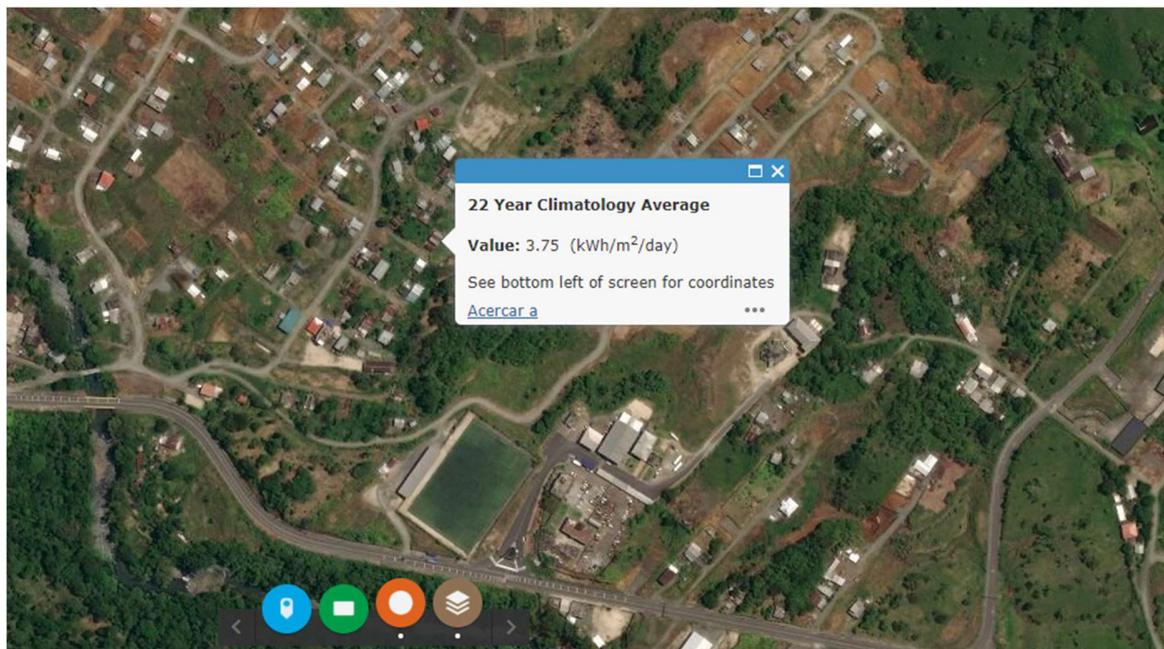


Nota: (NASA, 2020)

A partir de estos datos se procedió a realizar una consulta en la página web de la estación meteorológica y predicción de recursos energéticos mundial de la NASA, arrojando la favorabilidad de la implementación del sistema de generación fotovoltaica, con un promedio anual de $3.75 \text{ KWh} / \text{m}^2 / \text{día}$, como se indica en la figura 16.

Figura 16

Irradiación solar promedio del lugar donde se desarrollo el proyecto que fue obtenido de la pagina web de la NASA



Nota: (NASA, 2020)

3.1.1. Radiación Normal Directa

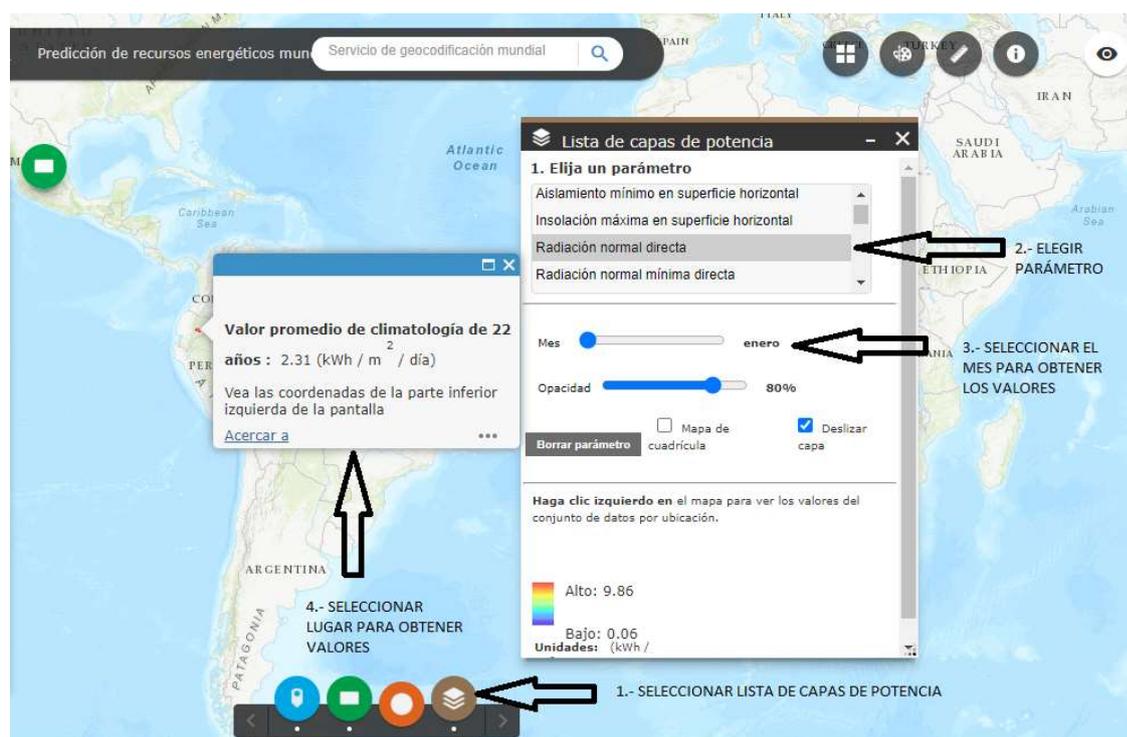
Los datos obtenidos de la página web con relación al lugar en cuestión es la radiación directa del sol que incide sobre la tierra y que tiende a sufrir cierta desviación por la refracción de las nubes, gases como el oxígeno, la lluvia etc. Dando como resultado ciertas perdidas en la irradiación, las cuales es captado por los paneles solares; la unidad de medida de la radiación es en KWh/m^2 .

En la tabla 9 se detalla los datos la radiación solar directa en KWh/m^2 de cada mes, el cual se obtuvo de la página web de la NASA. Por ende, para obtener los valores de radiación mensual se siguió los pasos que muestran en la figura 17 y por siguiente para obtener los datos

de cada mes se volvió a realizar los paso 3 y 4 correspondientemente y de este modo se obtuvo un promedio anual de 2.39 kWh/m^2 cual se ilustra en la figura 18.

Figura 17

Pasos para obtener los valores de radiación directa de todos los meses del año en la página web de la NASA



Nota: (NASA, 2020)

Tabla 9

La radiación solar directa de cada mes y promedio anual que incide sobre el lugar donde se desarrolló el proyecto

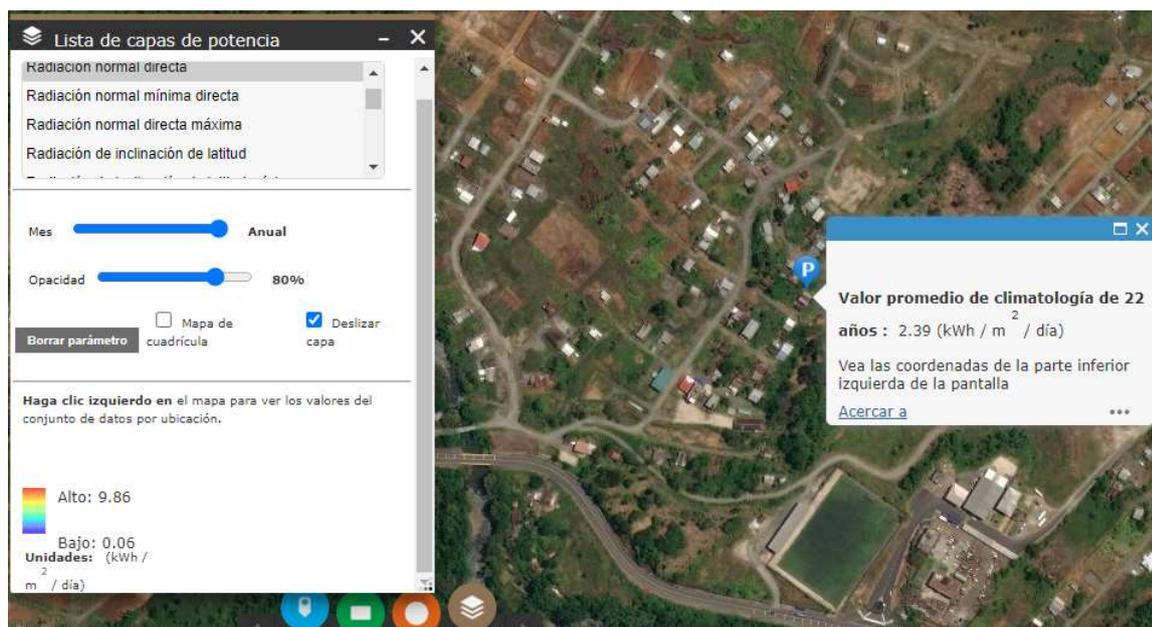
Radiación solar Directa Mensual													
Mes	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Promedio Anual
Radiación directa KWh/m²/ día	2.31	1.88	1.73	2.13	2.43	2.45	2.44	2.52	2.56	2.77	2.9	2.6	2.39

Nota: (NASA, 2020)

La figura 18 indica el lugar exacto donde se llevó a cabo la medición de radiación solar y futura implementación del proyecto, ubicado a las afueras de la ciudad de Puyo, en el km 1.5 de la vía a Macas.

Figura 18

Radiación normal directa anual sobre la ubicación donde se implementó el proyecto



Nota: (NASA, 2020)

3.1.2. Hora Solar Pico

En la tabla 10, se observa la comparación de la insolación global de cada mes obtenida de la página web de la NASA, cumpliendo los mismos pasos de la figura 21 inicialmente mostrada, con la diferencia que se seleccionó la opción de insolación máxima en superficie horizontal. La hora solar pico es la irradiación ideal que equivale a 1000 Wh/m^2 ; de este modo se determinó usando ecuación 1.

Tabla 10*Insolación global mensual*

Insolación global													
Mes	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Promedio Anual
Insolación KWh/m ² / día	4.84	4.33	4.04	4.26	3.92	4.06	4.04	4.4	4.53	5.21	4.83	4.97	4.25

Nota: (NASA, 2020)

Ecuación 1. Cálculo para obtener la hora solar pico

$$HSP = \frac{\text{Insolacion global (Wh/m}^2\text{)}}{1000W(\text{Wh/m}^2)}$$

Dónde:

HSP: Hora solar pico

$$HSP = \frac{4250(\text{Wh/m}^2)}{1000W(\text{Wh/m}^2)}$$

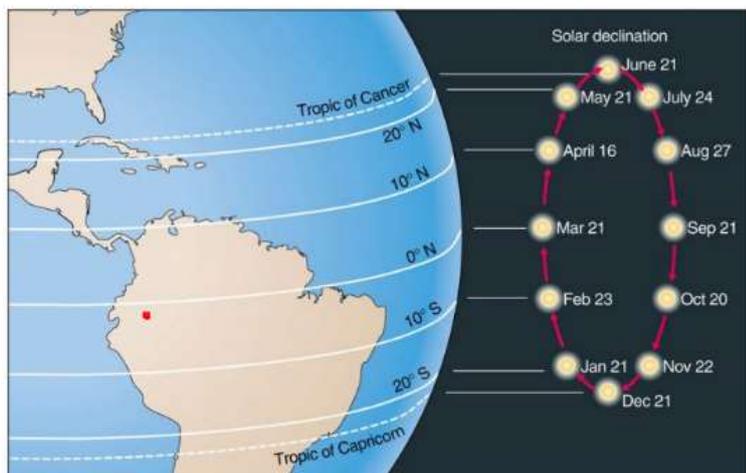
$$HSP = 4.25h$$

3.1.3. Orientación e Inclinación

Al estar situado cerca de la línea ecuatorial que es la latitud cero como se muestra en la figura 19, la orientación óptima de los paneles fotovoltaicos es hacia el norte, por lo cual la orientación que se utilizó fue el noroeste geográfico siendo el mismo que el techo de la vivienda, y el ángulo de inclinación recomendable varía de 0° a 15° para la línea ecuatorial dependiendo la ubicación, en este caso debido a la inclinación de la cubierta se colocó en un ángulo de 8°. Para obtener el ángulo de inclinación del techo se lo realizó mediante un inclinómetro hecho de un graduador como se muestra en la figura 20.

Figura 19

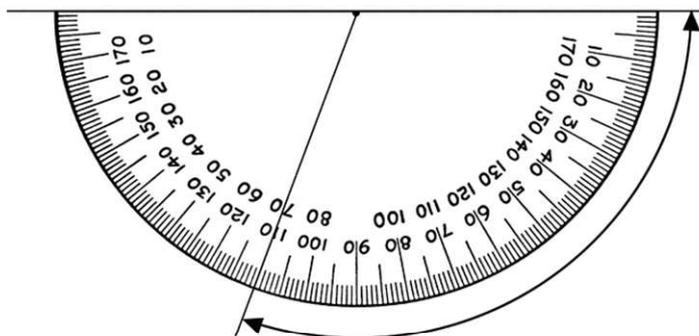
Interpretación de la declinación solar perpendicular con la línea ecuatorial



Nota. La declinación solar varía de 0° a $\pm 23.45^\circ$ dependiendo del mes, siendo el máximo el 21 de diciembre y 21 de junio. (Vargas, 2017)

Figura 20

Funcionamiento de un graduador como un inclinómetro básico

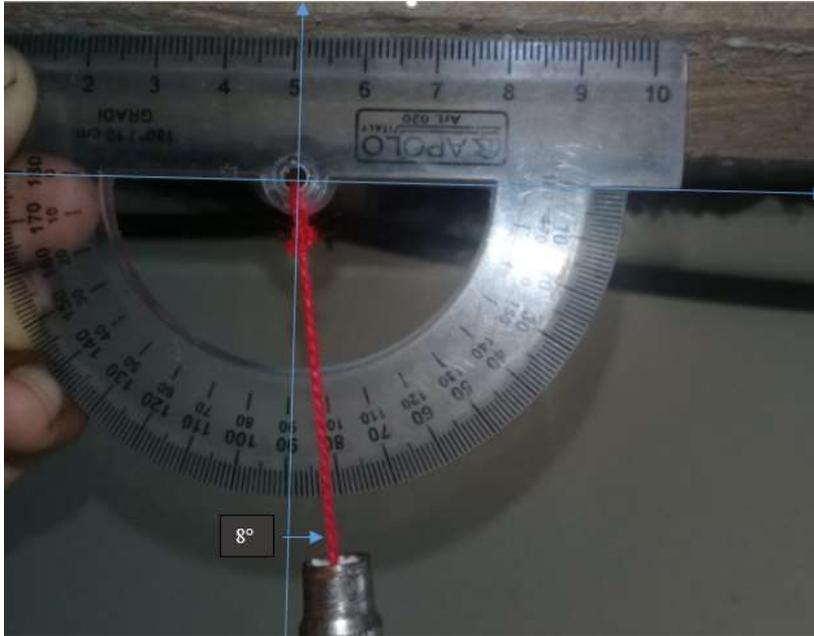


Nota: (instrumentos de medición, 2020)

En la figura 21 se muestra el ángulo de inclinación tomado mediante el inclinómetro realizado con un transportador y una plomada.

Figura 21

Graduador utilizado como un inclinómetro básico para calcular ángulos de las superficies



Nota: Elaboracion propia

Se utilizó la ecuación 2 para encontrar el ángulo óptimo de inclinación para los paneles fotovoltaicos.

Ecuación 2. Calculo inclinación óptima

$$\beta_{opt} = 3.7 + 0.69|\phi|$$

Dónde:

β_{opt} : Inclinación óptima

$|\phi|$: Latitud del lugar

Se realizó el cálculo para obtener la inclinación ideal de los paneles solares en Pastaza-

Ecuador, con latitud -1.4976.

$$\beta_{opt}=3.7+0.69|\phi|$$

$$\beta_{opt}=3.7+0.69|-1.4976|$$

$$\beta_{opt}=4.73^{\circ}$$

Sin embargo, el ángulo de inclinación el cual se colocó los paneles solares fue la misma que la del techo de la vivienda de, 8° y no la óptima anteriormente mencionada, con el objetivo de precautelar la integridad de los paneles a causa de fuertes vientos y tormentas existentes en épocas de lluvia, a pesar de no estar en el ángulo ideal, por sobre todo no afecta en la captación de la radiación solar por que se encuentra dentro del rango aceptable de inclinación para latitud 0°.

3.2. Cálculos de consumo estimado y dimensionamiento de equipos para el sistema de iluminación de una vivienda

Para el dimensionamiento de este proyecto, se hace referencia al suministro de energía eléctrica de la empresa eléctrica existente de una vivienda estándar, la tensión del sistema es de 110 voltios AC a 60 Hz, con la finalidad de sustituir las cargas de iluminación que se muestra en la tabla 11, que se obtuvo mediante la ecuación 3.

Ecuación 3. Calculo vatios hora (Wh/día)

$$\text{Vatios hora (Wh)} = \text{potencia (W)} * \text{horas de uso (h)} * \text{cantidad}$$

Tabla 11

Resumen del cálculo de potencia estimada para el sistema de iluminación de una vivienda

Potencia estimada				
Carga	Cantidad	Potencia (W)	Horas de uso (h)	Vatios hora (Wh)
Bombillas led	18	9	6	972
Total				972

Nota: Elaboración propia

Al mismo tiempo, para implementar un sistema autónomo (off grid), es necesario determinar los amperios hora que se necesita para un determinado tiempo de autonomía, en este caso es de un día con un promedio de 6 horas de uso continuo, para ello mediante la ecuación 3 se calculó los amperios hora de la potencia antes mencionada. Para adquirir las baterías adecuadas y no tener deficiencia a la hora de descarga en la noche se añade un porcentaje estimado del 15% de pérdidas de todo el sistema.

En la ecuación 4 se realizó en cálculo de amperios hora de forma que se pueda estimar el sistema de corriente continua de 24 voltios.

Ecuación 4. Cálculo de amperios hora, para sistema de 24V DC:

$$Ah = \frac{Wh * dias}{P_D * V} * 1.15$$

Dónde:

Ah: Amperios hora

Wh: Vatios hora

P_D : Profundidad de descarga

V: Voltaje de batería

$$Ah = \frac{972Wh * 1}{0.6 * 24V} * 1.15$$

$$Ah = 77.62 Ah$$

La profundidad de descarga depende del tipo de batería, en este caso un acumulador de gel con una profundidad de descarga de 60%.

A partir del consumo mensual de 29160Wh calculado, por la ecuación 5 se obtuvo la potencia que debe cubrir el panel fotovoltaico para la demanda de energía de iluminación de la vivienda.

Ecuación 5. Cálculo de la potencia que generar el panel solar

$$P_{GFV} = \frac{E_T}{HSP * N * PR}$$

Dónde:

P_{GFV} : Potencia generada del panel fotovoltaico

E_T : Energía consumida mensualmente

HSP : Hora solar pico

N : Número de días de consumo en el mes

PR : Factor de rendimiento varía de 0.7 a 0.8

$$P_{GFV} = \frac{29160Wh - Mes}{4.25h * 30 * 0.8}$$

$$P_{GFV} = 285.88W$$

3.2.1. Dimensionamiento de los Equipos para el Sistema de Generación Fotovoltaica

Con respecto al dimensionamiento de los equipos para el sistema de iluminación de la vivienda, con base a los valores de potencia y los amperios/hora obtenidos anteriormente, se realizó el cálculo para la selección de los equipos necesarios para el sistema fotovoltaico propuesto. Los datos de insolación global, las horas sol pico y para establecer el número de paneles solares.

3.2.2. Cálculo para Establecer el Número de Paneles Solares

Considerando la ecuación 6, la hora solar pico y la ET (energía consumida diaria) adquirido, se obtuvo como resultado la cantidad necesaria de paneles fotovoltaicos para el sistema que suplirá la demanda de iluminación de la vivienda.

Ecuación 6. Valores para obtener el número de paneles solares

$$N_P = \frac{E_T}{P_{MPP} * HSP}$$

Dónde:

E_T : Energía consumida diaria

P_{MPP} : Potencia máxima del panel fotovoltaico

N_P : Numero de paneles

HSP : Hora solar pico

$$N_P = \frac{E_T}{P_{MPP} * HSP}$$

$$N_P = \frac{972 Wh}{150 W * 4.25 h} = 1.52$$

$$N_p = 1.52 \cong 2 \text{ módulos}$$

3.3. Selección de Equipos para el Sistema Fotovoltaico

Después de haber obtenido los cálculos necesarios, se adquirieron los equipos que cumplieran con las características técnicas, para un sistema independiente y autosustentable capaz de abastecer los 972 Wh/día con un promedio de 6 horas diarias de autonomía. Por ello, se detalló las particularidades en base a la hoja de datos técnica de cada uno de los equipos.

3.3.1. Selección de Módulo Fotovoltaico

Para la potencia requerida se seleccionó 2 paneles policristalino Copex de 150W con una óptima absorción de la radiación solar de $1000\text{Wh}/\text{m}^2$, el cual en conjunto proporciona un voltaje máximo de 36V y una corriente de 8.3A nominal, capaz de suplir los 972 Wh de la iluminación de la vivienda, en la tabla 12 se detallan las características técnicas del panel solar y en la figura 22 se observa los dos paneles adquiridos.

Tabla 12

Información técnica del panel solar policristalino Copex 150w

Especificaciones Técnicas

Potencia máxima (Pmax)	150W
Tolerancia	0±3%
Temperatura de la celda	25°C
Voltaje nominal (Vmp)	18V
Corriente nominal (Imp)	8.3A
Voltaje de circuito abierto (Voc)	22V
Corriente de corto circuito (Isc)	9A
Diodo de bypass máxima	12A
Voltaje máxima de sistema	1000 VDC

Nota: (Copex, 2017)

Figura 22

Paneles policristalinos de 150W de la marca Copex



Nota: Elaboracion propia

3.3.2. Selección de Inversor de Corriente

Para la selección del inversor se tuvo en cuenta la potencia máxima generada por el panel fotovoltaico siendo de 285.88W, que se adquirió con la ecuación 5.

Se seleccionó un inversor de onda modificada porque la carga de iluminación en sí es resistiva y no requiere mucha potencia. Por tal motivo, se adquirió un inversor de 500W de la marca Power Inverter, con entrada de voltaje de 24 voltios, y con salida nominal de 110V a 60 Hz, el cual de acuerdo a la hoja técnica y pruebas prácticas dieron un rendimiento del 90%, estando dentro del rango normal de funcionamiento, en la tabla 13 se muestra las especificaciones con más detalles y en la figura 23 el equipo en sí.

Tabla 13

Hoja de datos especificada por el fabricante del inversor de 500W de onda modificada

Especificaciones Técnicas

Potencia de salida AC	500W
Potencia máxima de salida AC	1000W
Voltaje de entrada	12V / 24V
Forma de onda	onda sinusoidal modificada
Voltaje de salida	110V±10%,60± 2Hz / 220V±10%, 50± 2Hz
Alarma de batería baja	10.5±0.5V / 21±0.5V
Apagado por batería baja	≤9.5V / ≤ 19V
Apagado por carga completa de batería	≥14.5V / ≥ 30V
Eficiencia máxima	≥85% / ≥90%
Nivel de protección	IP32

Nota: Manual del fabricante

Figura 23

Inversor de corriente Power Inverter de 500w



Nota: Elaboracion propia

3.3.3. Selección de Controlador de Carga Solar

Se escogió un controlador de carga con características PWM, de 30 amperios que es ideal para bajas potencias, por su espacio reducido en el diseño, su fácil transportación y precio del equipo con relación a calidad, con respecto a características técnicas ofrece una tensión constante y estable para cargar las baterías. Este controlador posee una pantalla LCD en cual permite navegar en sus distintas configuraciones, como selección del tipo de batería, de niveles de voltaje de flotación y absorción, temporizador y corte por bajo voltaje de batería, además, los distintos indicadores como de temperatura, corriente de entrada de los paneles, corriente de consumo y un contador de amperios hora de generación y de consumo, en la figura 24 se observa el controlador de carga adquirido.

Figura 24

Controlador de carga solar PWM de 30A



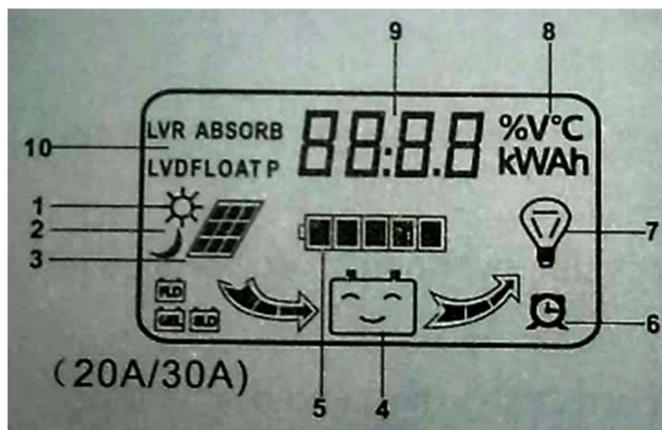
Nota: Elaboracion propia

La figura 25 presenta las características de la pantalla LCD del controlador establecido en la guía del fabricante, donde, para fines aplicativos se enumeró respectivamente, 1) modo

día, 2) modo noche, 3) panel solar, 4) batería, 5) nivel de carga de batería, 6) ajuste de tiempo, 7) carga, 8) unidad, 9) pantalla digital, 10) configuración de parámetros de carga.

Figura 25

Instrucciones de la pantalla del controlador de carga solar PWM de 30A



Nota: Elaboracion propia

En consecuencia, el controlador de carga solar seleccionado, identifica automáticamente el voltaje de las baterías 12, 24 o 48 voltios, no obstante, los tipos de acumulador que admite es de plomo-ácido y tipo Gel. También, posee protecciones de sobretensiones, corto circuito, sobrecargas y protección de descarga excesiva, en la tabla 14 se detallan las especificaciones técnicas proporcionadas por el fabricante.

Tabla 14

Datos técnicos del controlador de carga solar

Especificaciones Técnicas	
Modelo	30A
Voltaje del sistema	12,24 o 48 Voltios
Voltaje de entrada máximo del panel solar	50V(12V/24V), 100V(48V)
Perdidas	≤13 mA
Corriente de carga máxima	30A

Corriente de descarga máxima	30A
Protección de bajo voltaje de batería (LVD)	10.7V(10-13.8V), 21.4V(20-27V), 50.4V(40.8-56V)
Voltaje de reinicio de bajo voltaje de batería (LVR)	12.6V(13.5-15V), 27.6V(26-30V), 55.2(52-60V)
Voltaje máximo	15/30/60
Protección de conexión inversa de entrada	Si
Modo de carga	PWM
Temperatura de compensación	-24mv/°C, -48mv/°C, -96mv/°C, relativo 12V, 24V, 48V
Temperatura de operación	-20°C -+ 55°C
Cable recomendado	28-10AWG
Nivel de impermeabilidad	IP32
Peso	320g

Nota: Hoja técnica del equipo

3.3.4. Selección de Baterías

Para la selección de la batería se tomó en cuenta la eficiencia con relación al ciclo de trabajo, donde un ciclo quiere decir carga y descarga, se eligió baterías solares de ciclo profundo. Para determinar la cantidad de energía a utilizar se tomó en cuenta el consumo diario de la vivienda siendo de 972Wh, para una autonomía de 6 horas diarias (ecuación 4), obteniendo un valor de 77.62 Ah/día.

Por tanto, para abastecer la demanda se adquirió dos baterías OMEGA NPG100-12 de 12V 100 Ah de tipo Gel, con un ciclo de uso de 14.5 a 15 V(25°C), en la figura 26 se observa la batería implementada.

Figura 26

Batería de gel OMEGA NPG100-12 de 12V 100Ah



Nota: Elaboracion propia

3.3.5. Selección de Conductores y Conectores

Para la selección del cableado del sistema fotovoltaico se dividió en dos secciones; la primera sección que es de generación de energía solar corresponde a todas las instalaciones desde el panel hasta el inversor de corriente, y la segunda es todo respecto a la de iluminación a partir del tablero de distribución hasta las cargas de iluminarias. La sección de generación comprende 12 metros de longitud desde los paneles fotovoltaicos hasta el controlador de carga, y la corriente que circula por la línea es de 8.3A DC, para estas circunstancias se utilizó cable multipolar THHN/THWWN 2X #10 AWG de cobre, flexible, a 600V que soporta hasta 30A de corriente y 90°C. Desde el controlador a las baterías, inversor tienen una longitud de 2 metros respectivamente y se utilizó cable #10 AWG, y para la interconexión de las baterías se utilizó cable #4 AWG, por lo que la corriente que circula entre si es mucho mayor.

Los paneles solares vienen de fábrica con bornes especiales, por esta razón para conectarlos se adquirió conectores mc4 para una fácil conexión, en la figura 27 se muestra los

conectores adquiridos para la conexión, y en la figura 28 se puede observar el esquema de conexión de los paneles solares.

Figura 27

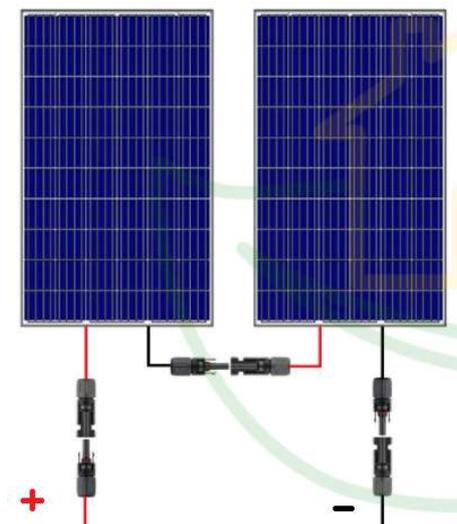
Conectores mc4 doble para enlazar paneles solares



Nota: Elaboracion propia

Figura 28

Conexión de los paneles solares en serie



Nota: (Autosolar, 2018)

Para la sección del circuito de iluminación, se utilizó 15 metros de cable sólido de cobre TW # 12 AWG, que parte desde la salida del inversor de corriente hasta el centro de carga de iluminarias, y se utilizó el cableado existente para su distribución a cada habitación de la vivienda.

3.3.6. Estructura y Soporte

La estructura que se seleccionó fue un perfil de aluminio tipo (U) de 1 pulgada, que se montó sobre el techo de lámina de la vivienda como se muestra en la figura 29.

Figura 29

Perfil de aluminio para el soporte de los paneles fotovoltaicos



Nota: Elaboracion propia

En la sujeción se usaron pequeñas platinas y tornillos graduables que se empotraron en el perfil para sujetar los paneles solares, en la figura 30 se muestra la estructura armada.

La longitud de la estructura seleccionada fue acorde a las medidas establecidas por el fabricante de los paneles, de 149 cm de alto por 69 cm de ancho por panel; por ende, para instalar los dos paneles sobre el techo se colocó dos perfiles de 150 cm en paralelo.

Figura 30

Estructura y platinas de sujeción para los paneles solares



Nota: Elaboracion propia

3.3.7. Instalación de Equipos

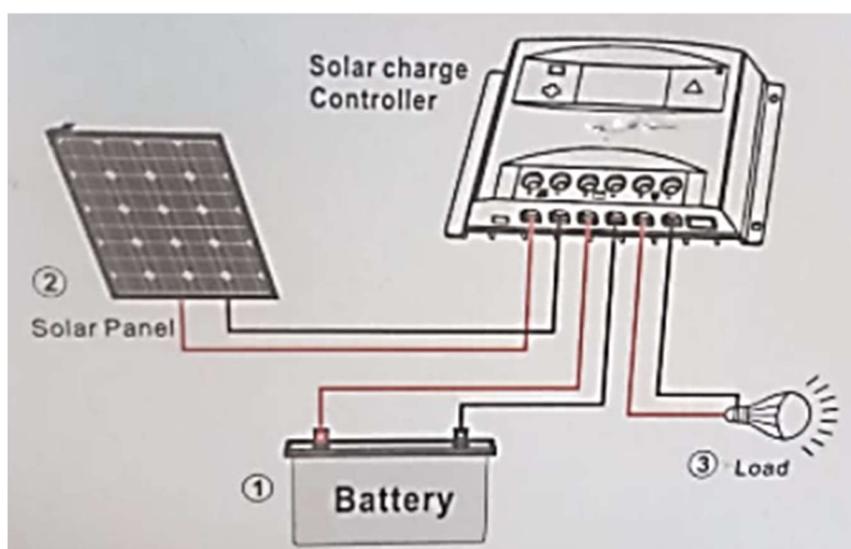
Para la instalación se tomó en cuenta los manuales técnicos provistos por el fabricante de cada uno de los equipos. Haciendo énfasis en el manual del controlador solar como dispositivo principal de todo el sistema, se siguió el diagrama de conexión que se muestra en la figura 31.

Antes de realizar la instalación se verificó la polaridad de cada uno de los dispositivos, mediante un multímetro, tomando en cuenta si la corriente es directa DC o alterna AC. Según el código de colores de conductores se consideró para conexiones de corriente directa el cable blanco como positivo y el de color negro como negativo, y para corrientes AC el cable negro como fase y el de color blanco como neutro respectivamente. Finalmente, en la figura 31 también se detallan los pasos a seguir para la instalación del sistema fotovoltaico.

Primero se conectó la batería, después los paneles solares y finalmente la carga a 24 voltios DC o el inversor de corriente DC/AC para su distribución al circuito de iluminación mediante el centro de carga de la vivienda.

Figura 31

Diagrama de conexión de los dispositivos hacia el controlador de carga



Nota: Elaboración propia

Para poner en funcionamiento el sistema primero se realizó la conexión de las dos baterías de 12V 100Ah en serie con cable de cobre flexible #4 AWG y terminales tipo ojo, en la figura 32 se muestra el circuito de las baterías. La conexión en serie de las baterías de 12V se

lo realizó para duplicar el voltaje, y de este modo abastecer el sistema de 24V que suministrará una corriente de 77.62Ah (ecuación 4), supliendo la demanda de energía por más de 6 horas del tiempo propuesto.

De la misma manera se conectó los acumuladores hacia el controlador de carga mediante terminales tipo pin, una vez conectado el controlador reconoce el tipo de batería y el voltaje de la misma.

Figura 32

Conexión de baterías de gel OMEGA de 12V 100Ah en serie



Nota: Elaboracion propia

Posteriormente, se realizó la instalación de dos paneles policristalino de 150W en serie mediante los conectores mc4 como se muestra en la figura 33, subsiguiente se cableó hacia el controlador solar con un conductor multipolar 2X #10 AWG.

Figura 33

Interconexión de paneles mediante conectores mc4



Nota: Elaboracion propia

La instalación de paneles solares se implementó con las estructuras de aluminio sobre el techo de la vivienda, tomando las medidas de precaución eléctrica necesaria en vista que la corriente a máxima potencia que circula es de hasta 10A. En la figura 34 se observa los paneles ya instalados sobre la cubierta.

Figura 34

Módulos fotovoltaicos instalados en el techo de la vivienda



Nota: Elaboracion propia

3.3.8. Conexiones y Cableado Eléctrico

En cuanto a la parte de corriente alterna de 110V se conectó el inversor de 500W, con un cable #12 AWG para todo el circuito de iluminación desde la caja de distribución y las cargas de luminaria de la vivienda. Se configuró el centro de carga para que toda la iluminación de la residencia funcione de forma autónoma con energía solar y los demás equipos y electrodomésticos con energía de la red convencional, además se vio en la necesidad de hacer un sistema híbrido para alternar entre los dos tipos de generación, mediante un selector de 3 posiciones industrial, el cual permite que el circuito de iluminación funcione con cualquiera de los dos métodos, permitiendo la opción de mantenimiento individual o por no abastecimiento en las baterías en caso de un clima desfavorable. En la figura 35 se puede percibir el centro de carga, en la figura 36 se puede ver el diagrama de la conexión realizada. Y en la figura 37 la instalación del sistema finalizado.

Figura 35

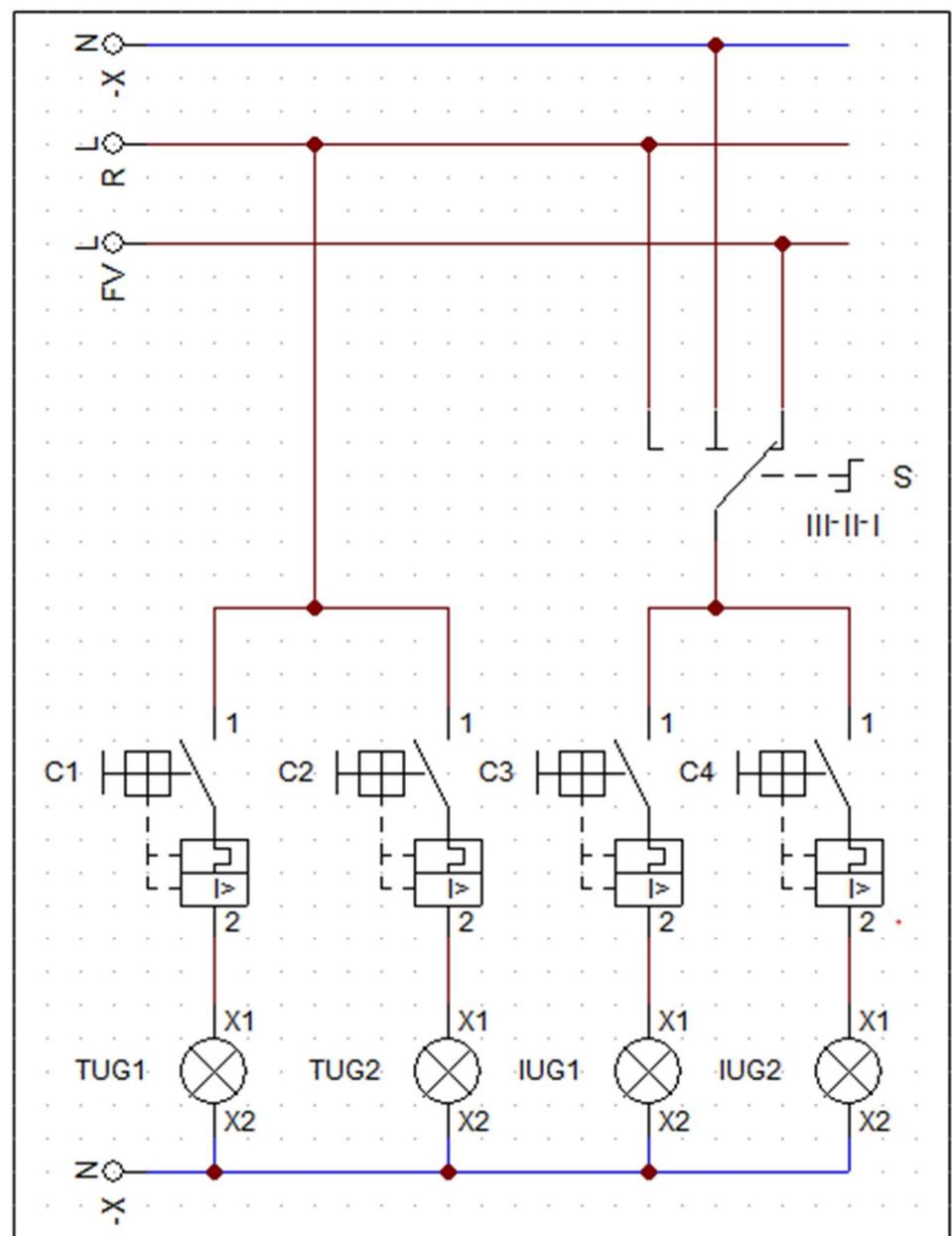
Centro de carga de la vivienda



Nota: Elaboracion propia

Figura 36

Diagrama eléctrico del centro de carga con adaptación del selector de tres posiciones



Nota. Diagrama eléctrico del tablero de distribución, donde la línea R es (red eléctrica normal), y FV (generación fotovoltaica). Elaboración propia.

Figura 37

Selector de tres posiciones en la caja de distribución del inmueble



Nota: Elaboracion propia

Para lograr el establecer la partición de los dos tipos de generación en la vivienda se realizó empalmes de ciertos ramales de las líneas del circuito de iluminación, en la figura 38 se da como ejemplo de una de estas conexiones.

Figura 38

Empalme de los ramales del circuito de iluminación



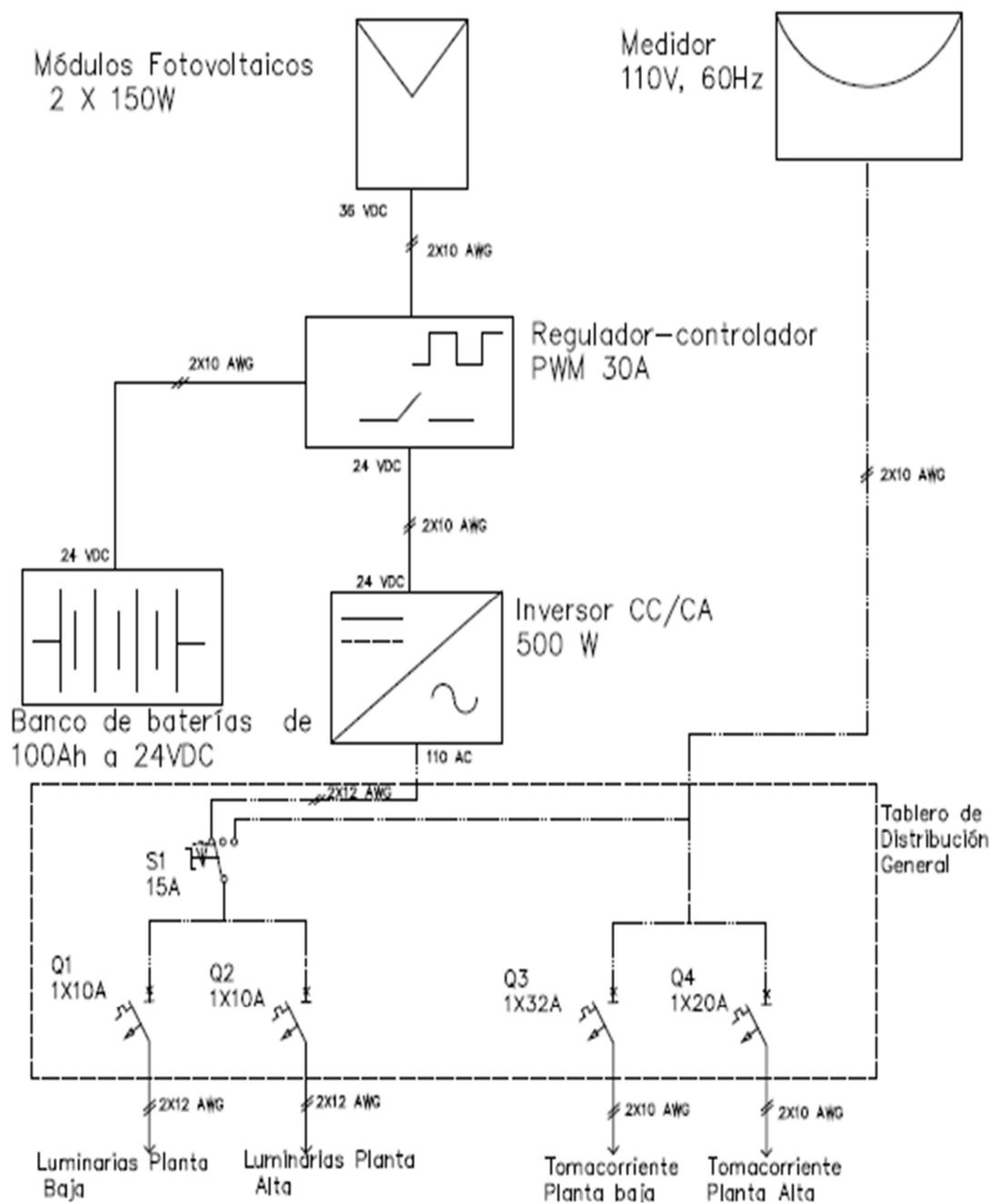
Nota: Elaboracion propia

3.4. Plano Unifilar de la Vivienda

El diagrama unifilar comprende toda la conexión eléctrica de la vivienda de tomacorrientes, iluminarias, además describe el calibre del cableado, capacidad y los diferentes tipos de voltaje que circula en el sistema. En la figura 39 se percibe en plano unifilar del domicilio.

Figura 39

Plano unifilar del domicilio



Nota: Elaboracion propia

3.4.1. Pruebas de Funcionamiento

Con el fin de verificar el correcto funcionamiento del sistema implementado, se comprobó la potencia que suministra los paneles al controlador solar, la señal de salida del inversor, la carga y descarga de baterías y demás conexiones. Adicionalmente, se comprobó el sistema híbrido alternando las dos formas de abastecimiento energético independientemente, para el funcionamiento de las cargas de iluminación.

a. Potencia Medida del Panel Solar

La potencia nominal del banco de paneles solares es de 300W, pero la máxima energía que suministra es hasta 473.8W en el lapso de 4.25 HSP (horas sol pico); siendo las 12:00 como pico máximo de producción. En base a los datos tomados comprendidos desde las 10:00 am hasta las 14:00 pm. En la tabla 15 se representa los valores obtenidos en un día completamente despejado.

Tabla 15

Potencia suministrada por los paneles solares en un día con radiación solar óptima.

POTENCIA DE GENERACION MÁXIMA

Hora	Voltaje (V)	Corriente (I)	Potencia (W)
06:00	35.0	0.4	14.0
07:00	37.2	1.1	40.92
08:00	41.8	2.5	104.5
09:00	43.4	5.3	227.3
10:00	43.6	9.2	397.4
11:00	43.9	10.4	453.4
12:00	44.7	10.6	483.5
13:00	43.3	10.8	481.6
14:00	40.2	8.6	453.1
15:00	39.4	5.3	379.4
16:00	38.9	1.3	25.7
17:00	37.3	0.3	5.5
18:00	35.4	0.0	0

Nota: Elaboracion propia

En la tabla 16 se muestra los datos obtenidos de un día parcialmente nublado, donde la captación varía de acuerdo a la cantidad de radiación que inciden sobre los módulos fotovoltaicos.

Tabla 16

Potencia proporcionada en un día parcialmente nublado

POTENCIA DE GENERACIÓN MÁXIMA			
Hora	Voltaje (V)	Corriente (I)	Potencia (W)
06:00	36.6	0.0	0.0
07:00	38.3	0.3	11.4
08:00	38.6	0.8	30.8
09:00	39.8	1.2	47.7
10:00	40.3	4.2	169.2
11:00	41.0	5.9	241.9
12:00	41.2	7.2	296.6
13:00	40.1	6.8	279.4
14:00	40.8	3.9	159.1
15:00	39.4	2.1	82.7
16:00	38.4	1.8	69.1
17:00	36.6	0.8	29.28
18:00	35.45	0.0	0

Nota: Elaboracion propia

Las mediciones se realizaron con un multímetro digital en diferentes días del mes de agosto del año 2020.

b. Potencia Medida del Controlador Implementado

En la tabla 17 se puede ver los valores obtenidos mediante las mediciones de voltaje realizadas con el polímetro en las entradas y salidas del controlador.

Tabla 17*Mediciones de potencia del controlador de carga***VOLTAJES DEL CONTROLADOR DE CARGA SOLAR (MÁXIMO)**

Desde paneles	44.7V
Regulado	28.7V
Salida a batería	28.2V
Salida al inversor	28.2V

Nota: Elaboracion propia

Los 44.7 voltios de entrada son regulados a 28.7V en su pico máximo, debido a que la energía para cargar las baterías no puede exceder de los 30V, ya que, pueden sufrir daños irreversibles, del mismo modo una vez completado su carga se desconecta del acumulador y el controlador disipa la corriente que no se consume. Los voltajes de salida de la batería y del inversor tienen el mismo valor por el hecho de estar conectados internamente en paralelo, mismo que se reflejó en las mediciones realizadas.

c. Mediciones de Potencia del Inversor

La potencia que soporta el inversor es de 500W, y la energía que suministra depende del consumo de las cargas conectadas, la corriente máxima que va a consumir es de 6.7A en corriente continua, por lo tanto, la energía de consumo de todo el circuito de iluminación es de 162W.

Las mediciones realizadas fueron comparadas con datos de la hoja técnica del equipo como: voltaje AC de salida, corriente pico AC/DC, verificándose la eficiencia del inversor como se contempla en la tabla 18.

Tabla 18

Comparación de rendimiento del inversor de corriente AC-DC

RENDIMIENTO DEL INVERSOR DC-AC

	Nominal	Calculado	Medido
Voltaje (AC)	110V	83.7V	86.5V
Corriente (DC)	7.2A	6.6A	6.7A
Corriente(AC)	1.5A	1.12A	0.9A
Frecuencia	60Hz	58Hz	57.95Hz

Nota: Elaboracion propia

Para determinar el rendimiento en la conversión de la corriente continua (DC) en alterna (AC) se comparó con los valores nominales suministrados por la empresa eléctrica, con un voltaje de 110V a 60Hz. Los valores reales proporcionados por el inversor fueron de 86.6V-57.97Hz hasta 98.5V-58.5Hz, estos valores varían a medida que vaya descargándose la batería.

d. Tiempo de Descarga de Baterías

El tiempo es proporcional al consumo de corriente de las luminarias, mediante la ecuación 8 se calculó la autonomía teórica de las luminarias.

Ecuación 8. Cálculo de duración de baterías según consumo

$$\text{horas de duración} = \frac{\text{Amperaje de bateria}}{\text{Consumo(Demanda de corriente)}}$$

$$\text{horas de duración} = \frac{100Ah}{7.2A}$$

$$\text{horas de duración} = 13.8h$$

Los cálculos obtenidos anteriormente son teóricos en base a los datos de la batería y la corriente de consumo de 18 bombillas de 9W. Pero la batería no se puede descargar al 100%,

en el caso del acumulador adquirido logra descargarse hasta un 60% (dato tomado de la hoja técnica), considerando este valor, la duración con respecto al obtenido con la ecuación 8 sería de 8.3h aproximadamente. Este tiempo es de uso continuo, pero normalmente en la vivienda no siempre están funcionando todas las cargas a la vez por ello la duración se extiende hasta unas 10 horas. Bajo esta perspectiva se realizó varias pruebas a diferente número de cargas como se muestra en la tabla 19.

Tabla 19

Comparación de autonomía de acumulador de 100Ah en un sistema de 24V

COMPARACIÓN DE DURACIÓN DE BATERÍA

Cantidad de Bombillas de 9W	Consumo corriente continua (DC)	Consumo corriente alterna (AC)	Autonomía calculada (horas)	Autonomía real (horas)
1	0.4A	0.06A	250h	150h
9	3.5A	0.56A	28.5h	17h
14	5.5A	0.84A	18.1h	10.9h
18	7.2A	1.054A	13.8h	8.2h

Nota: Elaboracion propia

En base a las pruebas reales obtenidas, se da como resultado un sistema fotovoltaico eficiente y capaz de suplir las cargas de las luminarias durante un periodo de 8 horas de funcionamiento continuo hasta la próxima carga.

En la figura 40 se puede analizar la pantalla LCD del controlador solar donde muestra el estado y nivel de carga de la batería

Figura 40

Nivel de carga del acumulador



Nota: Elaboracion propia

En la pantalla se puede visualizar las barras que indican el estado de carga, donde 28.2V con las 5 barras llenas muestran la carga completa y 21.4V con una sola barra la descarga completa.

CAPÍTULO IV

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. Conclusiones

- La potencia generada por los paneles fotovoltaicos fue del 152% en las mejores condiciones climáticas y 98.8% en un día no tan favorable considerando la potencia nominal, dando como resultado una generación eficiente incluso en días irregulares con poca incidencia del sol.
- El sistema híbrido implementado mediante el selector industrial permite proveer energía alternando entre la red eléctrica y la generada por el sistema fotovoltaico independientemente una de la otra, en casos de mantenimiento de los equipos o por no completar la carga de las baterías, de este modo se evita el corte de energía en la vivienda.
- El sistema fotovoltaico realizado permitió una rebaja considerable en la planilla del consumo eléctrico mensual, llegando a ser un 45% menos en el pago por el servicio (Anexo A).
- La generación por paneles solares es una energía limpia que no afecta al ecosistema que le rodea, esto se pudo evidenciar en el presente proyecto ya que el mismo se encuentra instalado en una zona protegida por su biodiversidad sin ningún cambio o afectación alguna.

4.2. Recomendaciones

- Realizar la conexión en serie y no en paralelo para una mayor seguridad y eficiencia en el sistema debido a que cada una de las baterías es de 100Ah y conectarlas en paralelo conlleva un riesgo por el alto valor de corriente que produce.

- Utilizar focos tipo led para una mayor eficiencia en el consumo de corriente y evitar así la descarga excesiva de las baterías, prolongando la autonomía del sistema.
- Para aprovechar de mejor manera el sistema solar es importante realizar los cálculos necesarios en cuanto a orientación e inclinación, basándose en coordenadas geográficas y sistemas de ubicación.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acevedo, F. de J. (2016). Diseño de una instalación solar fotovoltaica con capacidad para 3 kilovatios.pdf [UNIVERSIDAD NACIONAL ABIERTA Y A DISTANCIA]. Recuperado el 24 de junio de 2020, de <https://repository.unad.edu.co/bitstream/handle/10596/11352/10097742.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Aguilar, F. J., Aledo, S., & Quiles, P. V. (2016). Experimental study of the solar photovoltaic contribution for the domestic hot water production with heat pumps in dwellings. *Applied Thermal Engineering*, 101, 379-389. Recuperado el 9 de Junio de 2020, de <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2016.01.127>
- Aldama, M. (2017, octubre 8). Las Normas Eléctricas en el Cableado Estructurado—Siemon. recuperado el 21 de junio de 2020, de https://www.siemon.com/la/white_papers/08-10-17-normas-electricas.asp
- Álvarez, R. A. (2015). Aportes a la conversión DC-AC en sistemas fotovoltaicos: Módulos inversores conectados en cascada [PhD, Universidad Nacional de Colombia - Sede Manizales]. Recuperado el 21 de junio de 2020, de <http://www.bdigital.unal.edu.co/51157/>
- Autosolar. (2018, julio 24). Conexión en serie y en paralelo de paneles solares. Recuperado el 28 de junio de 2020, de: <https://autosolar.pe/blog/aspectos-tecnicos/conexion-en-serie-y-en-paralelo-de-paneles-solares>
- Badii, A. Guillen, & L. Abreu. (2016). *Energías Renovables y Conservación de Energía*. 15.
- Barzola, J., & Rubini, L. (2015). Análisis técnico y financiero de grid parity residencial con fuente de energía solar. *Yachana Revista Científica*, 4(1), Article 1. Recuperado el 9 de junio de 2020, de <https://doi.org/10.1234/ychn.v4i1.27>

- Calvo, R. R., Muñoz, A. M., López, V. P., Gonzales, R., Moreno, G., J. E., J. M., M. I., & Garcia, P. (2017). Sistema Electrónico Inteligente para el Control de la Interconexión entre Equipamiento de Generación Distribuida y la Red Eléctrica. *Revista Iberoamericana de Automática e Informática industrial*, 14(1), 56-69. Recuperado el 20 de junio de 2020, de <https://doi.org/10.1016/j.riai.2016.11.002>
- Castillo, I. (2018). Análisis al paradigma de la Industria 4.0 y propuesta de red eléctrica inteligente. Recuperado el 20 de junio de 2020, de <http://repositorio.ucsg.edu.ec/handle/3317/11359>
- Copex. (2017). Copex Solar | P 150. Recuperado el 20 de agosto de 2020, de <http://www.copexsolar.com/product/p-150/>
- cumbrepueblos. (2019). CONTROLADOR DE CARGA» Qué es, Tipos, Parámetros. Controladores de carga. Recuperado el 29 de junio de 2020, de <https://cumbrepuebloscop20.org/energias/solar/controlador-carga/>
- ECUATRAN. (16 de 11 de 2018). Energía fotovoltaica en el Ecuador. Recuperado el 28 de mayo de 2020, de <https://www.ecuatran.com/blog/energia-fotovoltaica-en-el-ecuador/>
- Fernandez, E. C. (2017). Propuesta de Diseño de un Sistema Solar Fotovoltaico para Iluminación en la Industria Textil SACSA [UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA]. Recuperado el 25 de junio de 2020, de <http://contenidosdigitales.uned.es/fez/view/intecca:VideoCMAV-5a6f7918b1111f5d118b459c>
- Gómez, V. A., Hernández, C., Rivas, E., Gómez, V. A., Hernández, C., & Rivas, E. (2018). Visión General, Características y Funcionalidades de la Red Eléctrica Inteligente (Smart Grid). *Información tecnológica*, 29(2), 89-102. Recuperado el 17 de junio de 2020, de <https://doi.org/10.4067/S0718-07642018000200089>
- González Jiménez, J., Márquez Robledillo, V. G., & González Pérez, J. (2016). espe— Eficiencia energética en las instalaciones de iluminación interior y alumbrado exterior

- (UF0567). IC Editorial. Recuperado el 17 de junio de 2020, de https://elibro.net/es/lc/espe/titulos/43900?fs_q=circuito__de__iluminacion__domiciliaria__&fs_edition_year=2016&prev=fs
- Guayanlema, V., Fernández, L., & Arias, K. (2018). Análisis de indicadores de desempeño energético en Ecuador. ENERLAC. Revista de energía de Latinoamérica y el Caribe, 1(2), 122-139.
- Hidalgo, J., Aumaitre, J., Bompert, C., & Carmona, G. (2016). Instalación eléctrica y normativa de su aplicación—Monografias.com. Recuperado el 22 de junio de 2020, de <https://www.monografias.com/trabajos107/instalaciones-electricas-y-normas/instalaciones-electricas-y-normas.shtml>
- INSHT. (2015). Iluminación en el puesto de trabajo.pdf. Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo.
- instrumentos de medición. (2020). Instrumentos para Medir ÁNGULOS 【 Lista Completa 2020 】 [Blog]. Instrumentos de Medición. Recuperado el 5 de agosto de 2020, de <https://instrumentosdemedicion.org/angulos/>
- IRENA. (2016). Letting in the Light: How solar photovoltaics will revolutionise the electricity system. 56.
- Jose Maria y Pavón, S. d. (2009). Libro de ciencia y tecnología N°2. Ecatepec de Morelos, estado de México: Tecnológico de estudios superiores Ecatepec.
- Kannan, N., & Vakeesan, D. (2016). Solar energy for future world: - A review. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 62, 1092-1105. Recuperado el 9 de Junio de 2020, de <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.05.022>
- Lamigueiro, O. P. (2018). Energía Solar Fotovoltaica (Vol. 8). creative commons.
- Maldonado, P. V. (s. f.). Irradiación solar global (Ecuador). 1.

- Masvoltaje. (2016). Tipos de cables eléctricos. Recuperado el 23 de junio de 2020, de <https://masvoltaje.com/blog/tipos-de-cables-electricos-que-existen-n12>
- MIT. (2015). The Future of solar energy. 356.
- Molina, M., & Melchor, C. (2016). Revista_Aplicaciones_de_la_Ingenieria_V3_N8_2.pdf. 3, 10.
- NASA. (2020). POWER Data Access Viewer. Power Data Access Viewer. Recuperado el 23 de Julio de 2020, de <https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/>
- NCYT®, Amazings. (2020). La importancia de la energía solar en la eficiencia energética. Noticias de la Ciencia y la Tecnología (Amazings® / NCYT®). Recuperado el 9 de junio de 2020, de <https://noticiasdelaciencia.com//art/38391/la-importancia-de-la-energia-solar-en-la-eficiencia-energetica>
- NEC. (2018). Instalaciones eléctricas. MIDUVI.
- Osorio Laurencio, L., & Montero Laurencio, R. (2016). Análisis energético de un sistema fotovoltaico integrado a una cubierta plana horizontal. Ingeniería Energética, 37(1), 45-54.
- Pacheco, S., Pérez, J., F., Liemberman, G., D., & Luna, L., A. (2018). Revista_Diseño_Innovativo_V2_N2.pdf. 2, 11.
- Parra, L. A. (2015). Diseño de instalaciones eléctricas y electrónicas para un centro tipo de diagnóstico médico por imágenes [Técnico]. Recuperado el 23 de junio de 2020, de <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/9149/1/UPS-ST001537.pdf>
- Pillajo, E. G., & Quishpe, J. S. (2018). Ética profesional aplicada en el diseño eléctrico residencial. Observatorio de la Economía Latinoamericana, septiembre. Recuperado el 23 de junio de 2020, de <https://www.eumed.net/rev/oel/2018/09/etica-diseno-electrico.html>
- Planas, O. (2017). Tipos de paneles fotovoltaicos. Recuperado el 24 de junio de 2020, de <https://solar-energia.net/energia-solar-fotovoltaica/elementos/panel-fotovoltaico/tipos-de-paneles-fotovoltaicos#paneles-solares-monocristalinos-de-celdas-de-silicio>.

- Quiceno, J. A., & Álvarez, A. F. (2017). Diseño de una instalación eléctrica residencial mediante energía solar fotovoltaica (Tecnico N° 03; p. 47). Recuperado el 23 de Junio de 2020, de <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/9149/1/UPS-ST001537.pdf>
- Quishpe, F., & Jaime, A. (2015). PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO MECÁNICO.
- Santos, D. B. (s. f.). 2. Introducción a la Energía Fotovoltaica. 20.
- Useche Rivera, C., & Rodríguez Barbosa, W. (2016). Estudio de Tecnologías Apropriadas en el Ahorro de Energía con Sistemas de Paneles Solares en el Campo Residencial. Recuperado el 10 de junio de 2020, de <http://repository.udistrital.edu.co/handle/11349/14175>.
- Vargas, L. (2017, agosto 7). Atentos: ¡Se acercan los días de más calor! La declinación solar perpendicular se hará sentir. Recuperado el 30 de Julio de 2020, de <https://meteovargas.com/atentos-se-acercan-los-dias-de-mas-calor-la-declinacion-solar-perpendicular-se-hara-sentir-2017/>.
- Vélez, R. (2015). Diseño y simulación de un sistema de generación fotovoltaica para una cocina de inducción magnética [Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE]. Recuperado el 24 de junio de 2020, de <http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/10837/1/T-ESPE-048736.pdf>

ANEXOS