

**INSTITUTO SUPERIOR TECNOLÓGICO UNIVERSITARIO RUMIÑAHUI
ESCUELA DE POSGRADOS.**

**MAESTRÍA TECNOLÓGICA MAESTRÍA EN SISTEMAS DE
GENERACIÓN SOLAR Y EÓLICA.**

**Trabajo de titulación previo a la obtención del Título de Magister Tecnológico en Sistemas
de Generación Solar y Eólica.**

Tema:

**Estudio y diseño de una planta fotovoltaica de 10 KVA utilizando diferentes bases de
datos meteorológicos con fines de inyección de energía a una Microred Eléctrica.**

Autor: Hugo Rafael Hidalgo Cumbajin.

Director: Luis Daniel Andagoya Alba.

Fecha: Septiembre del 2024.

Sangolquí - Ecuador



Autor: Hugo Rafael Hidalgo Cumbajin

Título a obtener: Magister Tecnológico en Sistemas de Generación Solar y Eólica

Matriz: Sangolquí -Ecuador

Correo electrónico: hugo.hidalgo@ister.edu.ec /
hu_raf@hotmail.com



Dirigido por: Luis Daniel Andagoya Alba

Título: Máster en Integración de las Energías Renovables en el Sistema Eléctrico / Ingeniero Eléctrico.

Matriz: Sangolquí -Ecuador

Correo electrónico: luis.andagoya@ister.edu.ec

Todos los derechos reservados

Queda prohibida, salvo excepción prevista en la Ley, cualquier forma de reproducción, distribución, comunicación pública y transformación de esta obra para fines comerciales, sin contar con autorización de los titulares de propiedad intelectual. La infracción de los derechos mencionados puede ser constitutiva de delito contra la propiedad intelectual. Se permite la libre difusión de este texto con fines académicos investigativos por cualquier medio, con la debida notificación a los autores.

@2024 Tecnológico Universitario Rumiñahui

Sangolquí – Ecuador

HUGO RAFAEL HIDALGO CUMBAJIN



APROBACIÓN DEL DIRECTOR DEL TRABAJO TITULACIÓN

Sangolquí, 15 de septiembre del 2024

MSc. Elizabeth Aldás
Directora de Posgrados
Instituto Superior Tecnológico Universitario Rumiñahui
Presente

De mi consideración:

Me permito comunicar que, en calidad de director del presente Trabajo de Titulación denominado: **ESTUDIO Y DISEÑO DE UNA PLANTA FOTOVOLTAICA DE 10 KVA UTILIZANDO DIFERENTES BASES DE DATOS METEOROLÓGICOS CON FINES DE INYECCIÓN DE ENERGÍA A UNA MICRORED ELÉCTRICA** realizado por **HUGO RAFAEL HIDALGO CUMBAJIN** ha sido orientado y revisado durante su ejecución, así mismo ha sido verificado a través de la herramienta de similitud académica institucional, y cuenta con un porcentaje de coincidencia aceptable. En virtud de ello, y por considerar que el mismo cumple con todos los parámetros establecidos por la institución, doy mi aprobación a fin de continuar con el proceso académico correspondiente.

Particular que comunico para los fines pertinentes.

Atentamente,

LUIS DANIEL
ANDAGOYA
ALBA

Firmado digitalmente
por LUIS DANIEL
ANDAGOYA ALBA
Fecha: 2024.09.15
21:07:21 -05'00'

Luis Daniel Andagoya-Alba
Director del Trabajo de Titulación
C.I.:1723285993
Correo electrónico: luis.andagoya@ister.edu.ec



CARTA DE CESIÓN DE DERECHOS DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Sangolquí, 16 de septiembre del 2024

MSc. Elizabeth Aldás
Directora de Posgrados
Instituto Superior Tecnológico Universitario Rumiñahui
Presente

Por medio de la presente, yo, Hugo Rafael Hidalgo Cumbajin, declaro y acepto en forma expresa lo siguiente: ser autor del trabajo de titulación denominado, Estudio y diseño de una planta fotovoltaica de 10 kVA utilizando diferentes bases de datos meteorológicos con fines de inyección de energía a una microred eléctrica, de la Maestría Tecnológica en SISTEMAS DE GENERACIÓN SOLAR Y EÓLICA; manifiesto mi voluntad de ceder al Instituto Superior Tecnológico Universitario Rumiñahui los derechos de reproducción, distribución y publicación de dicho trabajo de titulación, en cualquier formato y medio, con fines académicos y de investigación.

Esta cesión se otorga de manera no exclusiva y por un periodo indeterminado. Sin embargo, conservo los derechos morales sobre mi obra.

En fe de lo cual, firmo la presente.

Atentamente,

HUGO RAFAEL HIDALGO CUMBAJIN

CI: 1714113212



**FORMULARIO PARA ENTREGA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN
EN BIBLIOTECA DEL INSTITUTO SUPERIOR TECNOLÓGICO
UNIVERSITARIO RUMIÑAHUI**

MAESTRÍA TECNOLÓGICA: SISTEMAS DE GENERACIÓN SOLAR Y EÓLICA

AUTOR /ES: HUGO RAFAEL HIDALGO CUMBAJIN

TUTOR: ING. LUIS DANIEL ANDAGOYA ALBA

CONTACTO ESTUDIANTE: 0984028166

CORREO ELECTRÓNICO: hu_raf@hotmail.com/hugo.hidalgo@ister.edu.ec

TEMA: Estudio y diseño de una planta fotovoltaica de 10 kVA utilizando diferentes bases de datos meteorológicos con fines de inyección de energía a una microred eléctrica

RESUMEN EN ESPAÑOL:

El presente proyecto se centra en el estudio y diseño de una planta fotovoltaica de 10 kVA en el sector rural de Pintag, con el objetivo de inyectar energía a una microred eléctrica. Dada la variabilidad de las condiciones meteorológicas locales y la disponibilidad de diversas bases de datos de radiación solar, el estudio busca comparar estas fuentes de información (como Meteonorm 8.1, NASA Y PVGIS) para seleccionar la más adecuada y precisa para el dimensionamiento del sistema.

Se implementará un análisis detallado de las características climáticas del sector y se utilizará software especializado para el diseño del sistema fotovoltaico. El proyecto evaluará no solo la viabilidad técnica del sistema, sino también su impacto económico, buscando maximizar la eficiencia energética y la sostenibilidad de la planta.

Al proporcionar una fuente de energía limpia y renovable, este proyecto busca mejorar la calidad de vida de los habitantes de Pintag, reducir la dependencia de combustibles fósiles y contribuir al desarrollo de infraestructura eléctrica sostenible en zonas rurales. La planta fotovoltaica, además de suministrar energía a la microred, servirá como un modelo replicable para futuras instalaciones en áreas similares, promoviendo un crecimiento energético autosuficiente y ambientalmente responsable.

PALABRAS CLAVE:

Planta fotovoltaica, microred eléctrica, energía renovable, radiación solar, Energía solar.



ABSTRACT:

This project focuses on the study and design of a 10 kVA photovoltaic plant in the rural sector of Pintag, with the objective of injecting energy into an electrical microgrid. Given the variability of local meteorological conditions and the availability of various solar radiation databases, the study seeks to compare these sources of information (such as Meteonorm 8.1, NASA Y PVGIS) to select the most appropriate and accurate one for system sizing.

A detailed analysis of the climatic characteristics of the sector will be implemented and specialized software will be used for the design of the photovoltaic system. The project will evaluate not only the technical feasibility of the system, but also its economic impact, seeking to maximize the energy efficiency and sustainability of the plant.

By providing a clean and renewable energy source, this project seeks to improve the quality of life of the inhabitants of Pintag, reduce dependence on fossil fuels and contribute to the development of sustainable electrical infrastructure in rural areas. The photovoltaic plant, in addition to supplying energy to the microgrid, will serve as a replicable model for future installations in similar areas, promoting self-sufficient and environmentally responsible energy growth.

Keywords:

Photovoltaic plant, electric microgrid, renewable energy, solar radiation, Solar energy.



SOLICITUD DE PUBLICACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Sangolquí, 16 de septiembre del 2024

MSc. Elizabeth Aldás
Directora de Posgrados
Instituto Superior Tecnológico Universitario Rumiñahui
Presente

A través del presente me permito aceptar la publicación del trabajo de titulación denominado: **ESTUDIO Y DISEÑO DE UNA PLANTA FOTOVOLTAICA DE 10 KVA UTILIZANDO DIFERENTES BASES DE DATOS METEOROLÓGICOS CON FINES DE INYECCIÓN DE ENERGÍA A UNA MICRORED ELÉCTRICA**, de la Unidad de Integración Curricular en el repositorio digital "DsPace" del estudiante: **HUGO RAFAEL HIDALGO CUMBAJIN**, con documento de identificación No 1714113212, estudiante de la Maestría Tecnológica en **SISTEMAS DE GENERACIÓN SOLAR Y EÓLICA**.

El trabajo ha sido revisado las similitudes en el software "TURNITING" y cuenta con un porcentaje máximo de 15%; motivo por el cual, el Trabajo de titulación es publicable.

Atentamente,

HUGO RAFAEL HIDALGO CUMBAJIN
CI: 1714113212

Dedicatoria

Dedico este proyecto en primer lugar a Dios por darme la oportunidad de aprender muchas cosas maravillosas en el campo de la tecnología, a mi Esposa Fanny Haro, por su amor incondicional, su apoyo constante y su fe en mis capacidades, a mis preciosos hijos Mabel y Andrés Hidalgo, a toda mi familia en especial a mi Madre que está en el cielo, ya que han sido una inspiración fundamental para la realización de este trabajo.

A mis profesores y mentores, quienes han compartido su conocimiento y sabiduría, inspirándome a seguir adelante en el camino del aprendizaje y la investigación.

A la comunidad de Píntag, cuyo entorno natural y espíritu resiliente han motivado la búsqueda de soluciones sostenibles para un futuro más limpio y próspero.

Finalmente, dedico este esfuerzo a todos aquellos que creen en el poder de la ciencia y la tecnología para transformar nuestro mundo, promoviendo el uso de energías renovables como pilar fundamental para el desarrollo sostenible.

Hugo R. Hidalgo C.

Agradecimiento

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a todas las personas e instituciones que han hecho posible la realización de este proyecto.

En primer lugar, agradezco a mis profesores y tutores, quienes con su guía, conocimiento y paciencia me han orientado en cada etapa del proceso. Su dedicación y compromiso con la educación han sido una fuente constante de inspiración y motivación.

A mi familia, por su inquebrantable apoyo y comprensión durante este recorrido. Gracias por ser mi pilar y por creer en mis capacidades, incluso en los momentos más desafiantes.

A la comunidad de Píntag, cuya realidad y necesidades energéticas han sido el motor de este proyecto. Su disposición y colaboración han sido esenciales para entender mejor el entorno en el que se aplicará esta investigación.

Agradezco también a mis compañeros de estudio y amigos, quienes con sus ideas, críticas constructivas y palabras de aliento han enriquecido este trabajo.

Finalmente, extendiendo mi gratitud al INSTITUTO SUPERIOR TECNOLÓGICO UNIVERSITARIO RUMIÑAHUI y a todas las instituciones y organismos que han facilitado el acceso a bases de datos y herramientas de análisis, sin las cuales este proyecto no habría sido posible. Gracias por contribuir al desarrollo del conocimiento y por apoyar la innovación en el campo de las energías renovables.

Hugo R. Hidalgo C.

Resumen

El presente proyecto se centra en el estudio y diseño de una planta fotovoltaica de 10 kVA en el sector rural de Píntag, con el objetivo de inyectar energía a una microred eléctrica. Dada la variabilidad de las condiciones meteorológicas locales y la disponibilidad de diversas bases de datos de radiación solar, el estudio busca comparar estas fuentes de información (como Meteonorm 8.1, NASA Y PVGIS) para seleccionar la más adecuada y precisa para el dimensionamiento del sistema.

Se implementará un análisis detallado de las características climáticas del sector y se utilizará software especializado para el diseño del sistema fotovoltaico. El proyecto evaluará no solo la viabilidad técnica del sistema, sino también su impacto económico, buscando maximizar la eficiencia energética y la sostenibilidad de la planta.

Al proporcionar una fuente de energía limpia y renovable, este proyecto busca mejorar la calidad de vida de los habitantes de Píntag, reducir la dependencia de combustibles fósiles y contribuir al desarrollo de infraestructura eléctrica sostenible en zonas rurales. La planta fotovoltaica, además de suministrar energía a la microred, servirá como un modelo replicable para futuras instalaciones en áreas similares, promoviendo un crecimiento energético autosuficiente y ambientalmente responsable.

Palabras claves:

Planta fotovoltaica, microred eléctrica, energía renovable, radiación solar, Energía solar.

Abstract

This project focuses on the study and design of a 10 kVA photovoltaic plant in the rural sector of Píntag, with the objective of injecting energy into an electrical microgrid. Given the variability of local meteorological conditions and the availability of various solar radiation databases, the study seeks to compare these sources of information (such as Meteonorm 8.1, NASA Y PVGIS) to select the most appropriate and accurate one for system sizing.

A detailed analysis of the climatic characteristics of the sector will be implemented and specialized software will be used for the design of the photovoltaic system. The project will evaluate not only the technical feasibility of the system, but also its economic impact, seeking to maximize the energy efficiency and sustainability of the plant.

By providing a clean and renewable energy source, this project seeks to improve the quality of life of the inhabitants of Píntag, reduce dependence on fossil fuels and contribute to the development of sustainable electrical infrastructure in rural areas. The photovoltaic plant, in addition to supplying energy to the microgrid, will serve as a replicable model for future installations in similar areas, promoting self-sufficient and environmentally responsible energy growth.

Keywords:

Photovoltaic plant, electric microgrid, renewable energy, solar radiation, Solar energy.

ÍNDICE GENERAL

Aprobación del Director del Trabajo de Titulación.....	III
Carta de Cesión de Derechos del Trabajo de Titulación.	IV
Formulario para Entrega del Trabajo de Titulación en Biblioteca del Instituto Superior Tecnológico Universitario Rumiñahui	V
Solicitud de Publicación del Trabajo de Titulación.	VII
Dedicatoria.....	VIII
Agradecimiento	IX
Resumen	X
Palabras claves:.....	X
Abstract:	XI
Keywords:.....	XI
INTRODUCCIÓN.....	1
Tema:	1
Problema científico.....	2
Objetivo general	2
Objetivos específicos.....	2
Justificación	3
Variables Dependientes.	3
Variables Independientes.....	4
Demanda energética:	4
Hipótesis.....	4
CAPÍTULO I	5
MARCO TEÓRICO.....	5
1.1. Contextualización Espacio-Temporal del Problema	5

1.2. Revisión de Investigaciones Previas.....	5
1.3. Estudios sobre la eficiencia de plantas fotovoltaicas en áreas rurales:.....	6
1.4. Energía Solar Fotovoltaica	8
1.4.1. Fundamentos de Energía Solar Fotovoltaica	8
1.4.2. Componentes de un Sistema Fotovoltaico.....	9
1.4.3. Tipos de Sistemas Fotovoltaicos	10
1.4.4. Aplicaciones de la Energía Solar Fotovoltaica.....	10
1.4.5. Beneficios de la Energía Solar Fotovoltaica.....	11
1.4.6. Desafíos y Consideraciones.....	11
1.4.7. Futuro de la Energía Solar Fotovoltaica	12
1.5. Fundamentos del Diseño de Sistemas Fotovoltaicos.....	12
1.6. Evaluación del Recurso Solar.....	12
1.7. Determinación de la Carga Energética	13
1.8. Selección de Componentes.....	13
1.8.1 Módulos Fotovoltaicos:	13
1.8.2 Inversores	14
1.8.3 Estructuras de Montaje:.....	15
1.8.4 Cableado y Protección:.....	15
1.9. Optimización del Ángulo y Orientación de los Módulos.....	16
1.9.1 Orientación	16
1.9.2 Ángulo de Inclinación de los módulos:	16
1.10. Dimensionamiento del Sistema	16
1.10.1 Cálculo de Energía Generada:	16
1.10.2 Factor de Pérdida:	16
1.10.3 Redundancia y Escalabilidad:.....	17

1.11. Simulación y Validación	17
1.11.1 Software de Simulación:.....	17
1.11.2 Validación de Datos:	17
1.11.3 Optimización del Diseño:	17
1.12. Bases de Datos de Irradiación Solar	17
1.13. Comparación de Bases de Datos	18
1.14. Importancia en el Diseño Fotovoltaico.....	18
1.15. Factores Climáticos y Geográficos.....	18
1.16. Rendimiento y Eficiencia de Sistemas Fotovoltaicos.....	18
1.17. Viabilidad Técnica.....	19
CAPÍTULO II.....	20
MARCO METODOLÓGICO.....	20
2.1 Enfoque Metodológico	20
2.2 Tipo de la Investigación	20
2.3 Diseño de la Investigación.....	20
2.4 Población y Muestra de la aplicación	20
2.5 Instrumentos de Recaudación de Datos.....	21
2.6 Procedimiento.....	21
2.6.1 Recolección de Datos:	21
2.6.2 Cálculo de acuerdo a las necesidades del usuario	21
2.6.3 Dimensionado del sistema de inversión para la Microred:.....	22
2.7 Simulación del Sistema Fotovoltaico:	23
2.8 Análisis Comparativo:	23
2.9 Validación	23
2.10 Análisis de Datos	23

2.11 Recursos	23
2.11.1 Humanos	23
2.11.2 Materiales	24
2.11.3 Financieros	24
2.11.4 Limitaciones	24
2.12 Metodología aplicada	24
2.12.1 Recolección de Información y Evaluación del Recurso Solar	24
2.12.2 Determinación de la Demanda Energética	24
2.12.3 Diseño del Sistema Fotovoltaico	25
2.12.4 Simulación y Análisis de Rendimiento	25
2.12.5 Análisis Económico y Financiero.....	25
2.12.6 Documentación y Reporte Final.....	25
2.12.7 Normativas	26
2.13 Normativa Nacional.....	26
2.13.1 Reglamento de Generación de Energía Eléctrica	26
2.13.2 Código Nacional de Electricidad (Ecuador).....	26
2.13.3 Reglamento de Seguridad y Salud en el Trabajo (Ecuador).....	26
2.13.4 Normativa Internacional	26
2.14 Documentación y Permisos	27
2.14.1 Licencia de Construcción e Instalación	27
2.14.2 Certificación de Conformidad	27
2.15 Procedimientos Adicionales	28
2.15.1 Normas de Calidad y Eficiencia:	28
2.15.2 Manual de Instalación del Fabricante:.....	28
CAPÍTULO III	29

PROPUESTA DEL DESARROLLO DEL PROYECTO TÉCNICO	29
3.1 Fundamentos de la propuesta	29
3.1.1 Fundamentación Técnica.....	29
3.1.2 Fundamentación Económica.....	29
3.1.3 Fundamentación Social.....	30
3.1.4 Fundamentación Normativa.....	30
3.1.5 Presentación de la propuesta	30
3.2 Ejecución de la propuesta	31
3.2.1 Ubicación geográfica:.....	31
3.2.2 Croquis de ubicación del emplazamiento.....	32
3.2.3 Levantamiento de la red existente.....	32
3.2.4 Estudio de carga y demanda.....	33
3.3 Selección de los Materiales y Equipos	33
3.3.1 Selección del inversor:.....	33
3.3.2 Selección de los paneles fotovoltaicos:	34
3.3.3 Selección de la estructura para el montaje:	35
3.3.4 Selección de los conductores.....	36
3.4 Calculo y simulación del Inversor para el sistema	37
3.4.1 Cálculo del inversor.....	37
3.4.2 Simulación para la selección del inversor en el PVSyst.....	37
3.5 Calculo y simulación del sistema del PV base de datos Meteonorm 8.1	38
3.5.1 Cálculo de los requerimientos base de datos Meteonorm 8.1	38
3.5.2 Simulación de la planta FV con Base de datos Meteonorm en PVSyst	39
3.5.3 Presupuesto referencial con base datos Meteonorm 8.1	41
3.6 Calculo y simulación del sistema del PV base de datos NASA	42

3.6.1	Calculo con base de datos, NASA.....	42
3.6.2	Simulación de la planta FV con Base de Datos NASA en PVSyst	43
3.6.3	Presupuesto referencial con base datos NASA.....	45
3.7	Calculo y simulación del sistema del PV base de datos PVGIS	46
3.7.1	Calculo con base de datos, PVGIS	46
3.7.2	Simulación de la planta FV con Base de Datos PVGIS en PVSyst	47
3.7.3	Presupuesto referencial con base datos PVGIS	49
3.8	Calculo y dimensionamiento de los conductores del sistema.....	50
3.8.1	Dimensionamiento de los conductores para el tramo1:.....	50
3.8.2	Dimensionamiento de los conductores para el tramo2:.....	51
3.9	Calculo y dimensionamiento de las protecciones del sistema.....	51
3.9.1	Dimensionamiento de las protecciones en el Tramo1	51
3.9.2	Dimensionamiento de las protecciones del Tramo2.....	52
3.10	Cuadro de resumen de resultados de las bases de datos	54
3.11	Conclusiones:	54
3.12	Recomendaciones:	55
3.13	Proyectos futuros de investigación	56
3.14	Referencias	57
3.15	Anexos	58

INDICE DE FIGURAS

Figura 1: Ejemplo de instalación de energía solar fotovoltaica	8
Figura 2: Componentes de un sistema solar fotovoltaica	9
Figura 3: Tipos de sistemas fotovoltaicos	10
Figura 4: Partes de un módulo fotovoltaico.....	14
Figura 5: Modelo de Inversores.....	14
Figura 6: Estructura para las bases de los paneles fotovoltaicos.....	15
Figura 7: Cables para la instalación de sistemas fotovoltaicos	15
Figura 8: Croquis de ubicación.....	32
Figura 9: Levantamiento de la microred existente	32
Figura 10: Inversor Monofásico/Bifásico De Red 10kva.....	34
Figura 11: Panel solar Longi 375W LR4-60HPH 375/MR.....	35
Figura 12: Ubicación de las Estructuras para paneles solares a 15° de inclinación	36
Figura 13: Alambre de cobre con conector cable de CC 2.5-10mm	36
Figura 14: Resultados de la simulación del inversor.....	37
Figura 15: Resultados de la simulación BDD Meteonorm 8.1	40
Figura 16: Resultados de la simulación BDD NASA.....	44
Figura 17: Ventana de resultados de la simulación BDD PVGIS	48
Figura 18: Interruptor termomagnético EasyPact EZC 3P 80A TMD	52
Figura 19: Interruptor Automático ComPacT NSX100F TMD100 Regulable 70-100 A 3P3D	53
Figura 20: Conector macho hembra, cable solar IP67, conectores de panel solar	53

INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Demanda de diseño para 4 usuarios tipo C	33
Tabla 2: Datos de Irradiación diario en KWh/m ² /día BDD Meteonorm 8.1	40
Tabla 3: Presupuesto referencial con base datos Meteonorm 8.1	41
Tabla 4: Datos de Irradiación diario en KWh/m ² /día BDD NASA	43
Tabla 5: Presupuesto referencial con base datos NASA	45
Tabla 6: Datos de Irradiación diario en KWh/m ² /día BDD PVGIS	47
Tabla 7: Presupuesto referencial con base datos PVGIS	49
Tabla 8: Tabla de resultados de las 3 Bases de Datos	54

INTRODUCCIÓN

Tema:

Estudio y diseño de una planta fotovoltaica de 10kva utilizando diferentes bases de datos meteorológicos con fines de inyección de energía a una microred eléctrica

Planteamiento del Problema:

El crecimiento de la demanda energética y la necesidad de diversificar las fuentes de energía en zonas rurales, como el sector de Píntag, plantea importantes desafíos relacionados con la sostenibilidad, el acceso a energía confiable y la reducción de la dependencia de los combustibles fósiles. En estas áreas, el acceso a la energía eléctrica a través de redes convencionales es limitado, costoso y muchas veces ineficiente, lo que afecta negativamente el progreso económico y social de las comunidades.

El diseño e implementación de una planta fotovoltaica de 10 kVA con fines de inyección de energía a una microred eléctrica representa una alternativa viable para mejorar el acceso a electricidad en zonas rurales. Sin embargo, el éxito de este tipo de proyectos depende de la precisión y confiabilidad de los datos meteorológicos utilizados para optimizar el diseño del sistema fotovoltaico. La correcta estimación de la radiación solar, la temperatura y otras variables climatológicas es fundamental para garantizar la eficiencia y rentabilidad del sistema. A pesar de la disponibilidad de diversas bases de datos meteorológicas (como Meteonorm 8.1, NASA Y PVGIS), existen discrepancias entre estas en cuanto a la información provista, lo que puede llevar a un dimensionamiento ineficaz del sistema fotovoltaico. Este problema técnico podría derivar en la subproducción de energía, una inyección insuficiente en la microred eléctrica, o incluso en la sobrecarga de la infraestructura eléctrica local, comprometiendo la estabilidad de la microred.

Por lo tanto, surge la necesidad de un estudio comparativo de las diferentes bases de datos meteorológicas disponibles, con el objetivo de elegir la más adecuada para el sector de Píntag. Esto permitirá optimizar el diseño de la planta fotovoltaica, maximizando la inyección de energía a la microred eléctrica y garantizando un suministro eléctrico estable y sostenible para la comunidad. De este modo, el proyecto busca contribuir a la transición hacia un sistema energético más eficiente y limpio en zonas rurales del Ecuador.

Problema científico

El problema científico central del proyecto radica en la incertidumbre y variabilidad de los datos meteorológicos disponibles para el diseño preciso de sistemas fotovoltaicos.

La dificultad radica en la elección de la base de datos meteorológica más adecuada para proporcionar información precisa sobre radiación solar, temperatura y otros factores climatológicos, que son fundamentales para el dimensionamiento eficiente de una planta fotovoltaica. La variabilidad entre bases de datos como Meteonorm 8.1, NASA Y PVGIS, puede afectar el rendimiento y la confiabilidad de la planta, lo que plantea interrogantes sobre la exactitud de los datos y su impacto en la producción energética y la estabilidad de la microred eléctrica.

Por lo tanto, el problema científico se enfoca en determinar cuál de estas bases de datos ofrece las mejores condiciones para un diseño óptimo y eficiente de la planta fotovoltaica, asegurando una inyección de energía confiable y constante a la microred eléctrica en el sector de Píntag, considerando las características climáticas específicas de la región.

Objetivo general

Diseñar una planta fotovoltaica de 10 kVA en el sector de Píntag, utilizando diferentes bases de datos meteorológicos, con el fin de inyectar energía a una microred eléctrica de manera eficiente, asegurando la optimización del sistema en función de las situaciones climáticas locales y contribuyendo al desarrollo sostenible de la comunidad.

Objetivos específicos

1. Comparar y analizar las diferentes bases de datos meteorológicos (Meteonorm 8.1, NASA Y PVGIS) para determinar cuál proporciona la información más precisa y confiable sobre la radiación solar y las condiciones climáticas en el sector de Píntag.
2. Dimensionar y simular la planta fotovoltaica de 10 kVA utilizando software PVSyst, tomando en cuenta las características topográficas y climáticas de la región, a fin de maximizar la eficiencia y asegurar una inyección estable de energía a la microred eléctrica.

3. Evaluar el impacto técnico y económico de la implementación de la planta fotovoltaica en la microred eléctrica del sector de Píntag, asegurando la viabilidad del proyecto desde una perspectiva sostenible y económica.

Justificación

El diseño de una planta fotovoltaica de 10 kVA utilizando diferentes bases de datos meteorológicos para la inyección de energía a una microred eléctrica en el sector de Píntag está justificado por la necesidad de fomentar el acceso a energías limpias y sostenibles en comunidades rurales. Píntag, al ser una región con limitado acceso a fuentes de energía convencionales, puede beneficiarse significativamente de una solución renovable que no solo promueva la autonomía energética, sino que también reduzca el sometimiento de combustibles fósiles y sus impactos ambientales.

Además, el análisis comparativo de las diferentes bases de datos meteorológicas permitirá optimizar el diseño de la planta, asegurando su eficiencia y maximización de la obtención de energía en función de las condiciones climáticas locales. Este enfoque contribuirá a la sostenibilidad económica de la comunidad al reducir los costos energéticos, optimando la calidad de vida de los residentes y favoreciendo un progreso económico más inclusivo y respetuoso con el medio ambiente.

Finalmente, este proyecto también aportará conocimientos valiosos para futuras instalaciones fotovoltaicas en áreas rurales de características similares, proporcionando una metodología replicable que asegure un uso eficiente de los recursos solares y una integración efectiva a micro redes eléctricas.

VARIABLES DEPENDIENTES.

Producción de energía eléctrica: La cantidad de energía generada por la planta fotovoltaica en función de la radiación solar disponible.

Eficiencia del sistema fotovoltaico: Depende de factores como la calidad de los datos meteorológicos y el diseño del sistema.

Impacto económico: Los costos operativos y de mantenimiento asociados a la operación de la planta.

Variables Independientes.

Radiación solar: Cantidad de radiación solar utilizable en el sector de Píntag, medida a partir de diferentes bases de datos meteorológicas.

Demanda energética:

Lista de Equipos y Cargas Eléctricas

Determinación del Tiempo de Uso (Horas de Funcionamiento Diarias)

Cálculo del Consumo Diario de Energía (kWh/día)

Cálculo del Consumo Energético Mensual y Anual

Factor de Sobredimensionamiento

Temperatura ambiental:

Influye en el rendimiento de los paneles solares y su eficiencia.

Calidad de los datos meteorológicos:

Precisión, resolución temporal y espacial de las bases de datos utilizadas para el diseño y simulación del sistema.

Eficiencia de los paneles fotovoltaicos:

Dependencia de la eficiencia en función de la radiación disponible y las condiciones ambientales.

Pérdidas del sistema:

Pérdidas eléctricas debidas a cables, inversores y otros componentes del sistema.

Demanda de energía en la microrred:

Perfil de carga y demanda de electricidad en la microrred donde se inyectará la energía generada.

Hipótesis

Si se selecciona y utiliza adecuadamente la base de datos meteorológica más precisa para el sector de Píntag, entonces será posible diseñar una planta fotovoltaica de 10 kVA que maximice la producción de energía y garantice una inyección eficiente y estable de energía a una microrred eléctrica, contribuyendo al desarrollo sostenible de la comunidad. La implementación de una planta fotovoltaica de 10 kVA diseñada con datos meteorológicos precisos garantiza una inyección eficiente de energía a una microrred eléctrica en el sector de Píntag, contribuyendo a la sostenibilidad energética local y aprovechando óptimamente los recursos solares de la región.

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

1.1. Contextualización Espacio-Temporal del Problema

El sector de Píntag, ubicado en el Distrito Metropolitano de Quito, Ecuador, se determina por ser una región rural que experimenta desafíos en cuanto al acceso y estabilidad de su suministro eléctrico. La falta de una infraestructura energética moderna en ciertas áreas ha creado una dependencia significativa de fuentes de energía no renovables, lo que ha generado impactos negativos tanto económicos como ambientales para la comunidad.

Temporalmente, el proyecto se sitúa en un momento en el que Ecuador está impulsando el uso de energías renovables como parte de sus políticas de desarrollo sostenible, lo que crea una oportunidad favorable para la implementación de proyectos de energías limpias, como la energía solar fotovoltaica. El desarrollo de la demanda energética en comunidades rurales y el desarrollo de micro redes eléctricas son tendencias que convergen con el avance de las tecnologías fotovoltaicas y la disponibilidad de bases de datos meteorológicas avanzadas.

En este contexto, el diseño de una planta fotovoltaica de 10 kVA para el sector de Píntag se convierte en una solución adecuada para enfrentar los retos energéticos locales, utilizando datos meteorológicos específicos de la región para garantizar un diseño eficiente y adaptable a las condiciones climáticas particulares.

1.2. Revisión de Investigaciones Previas

La investigación en el campo de la energía solar fotovoltaica ha avanzado considerablemente en los últimos años, particularmente en áreas rurales donde la energía renovable se está utilizando para mejorar el acceso a la electricidad. Diversos estudios han abordado la implementación de plantas fotovoltaicas y la integración de estas a micro redes eléctricas en diferentes regiones del mundo.

1.3. Estudios sobre la eficiencia de plantas fotovoltaicas en áreas rurales:

Varias investigaciones han demostrado que las plantas fotovoltaicas en áreas rurales contribuyen a mejorar la eficacia de la vida y el desarrollo económico. En el artículo (Figueroa Cruz et al) aborda el potencial de electrificación de pequeñas comunidades rurales mediante minirredes solares en la región. Se destaca que esta tecnología reduce significativamente los costos de instalación, operación y mantenimiento, lo que la hace atractiva para áreas aisladas. El estudio se enfoca en la importancia de realizar cálculos de consumo precisos para cubrir las necesidades básicas y cómo los elementos sociales influyen en el triunfo de los proyectos de electrificación. Se lleva a cabo un análisis de experiencias nacionales e internacionales para identificar los factores sociales más relevantes que impactan en la implementación de minirredes fotovoltaicas. En cambio el artículo (**Rodríguez Gómez et al**) analiza una alternativa energética sostenible que se está implementando exitosamente en todo el mundo para mejorar la calidad del servicio eléctrico, ahorrar recursos naturales, reducir pérdidas y disminuir las emisiones de CO₂. El estudio se centra en una comunidad aislada donde se introdujo tecnología fotovoltaica conectada a la red de baja tensión en un grupo de viviendas. Los resultados muestran un análisis del consumo energético y el perfil de carga de las viviendas, y se propone una metodología de diseño específica para la tecnología fotovoltaica. Esta solución tiene el potencial de reducir la dependencia de la red eléctrica convencional, mejorar la calidad del servicio eléctrico y disminuir tanto las facturas eléctricas como las pérdidas energéticas. Por otro lado (**Panjón L.A.**) con la empresa CENTROSUR tienen proyectado instalar sistemas fotovoltaicos libres en zonas rurales de la provincia. Estas áreas, que presentan dificultades de acceso o limitaciones económicas, se beneficiarán del uso de energías disyuntivas, como la solar, para recibir un suministro eléctrico sostenible. El objetivo es apoyar el desarrollo de estas comunidades, mejorando su calidad de vida y asegurando un servicio eléctrico confiable. Además, el programa reafirma los principios de CENTROSUR en cuanto a servicio, calidad y progreso, demostrando su compromiso con la sostenibilidad y el desarrollo rural. Por eso en el artículo (**Alvarado_VSM-Valdiviezo**) se centra en evaluar la eficiencia de los sistemas fotovoltaicos en la generación de energía eléctrica en zonas rurales. Los objetivos específicos incluyen identificar los componentes de estos sistemas, determinar las condiciones óptimas de instalación, y evaluar su eficiencia. La investigación sigue una metodología longitudinal y descriptiva, basada en estudios recopilados de diversas fuentes bibliográficas. Los resultados indican que los sistemas

fotovoltaicos autónomos son los más investigados y utilizados para la generación de energía eléctrica, con un enfoque en el correcto dimensionamiento para su aplicación eficiente.

El artículo (Gonzales et al.) presenta el diseño de una microred óptima utilizando recursos solares fotovoltaicos en la Universidad Politécnica Salesiana - Campus Sur, con el objetivo de lograr sostenibilidad energética. Utilizando el software HOMER Pro, se analizan datos de irradiancia solar y demanda energética del bloque específico de la universidad. Los resultados indican que la incorporación de paneles solares y un banco de baterías es la alternativa más económica y sostenible. El estudio destaca la importancia de la transición hacia energías renovables para mitigar el cambio climático y mejorar la eficiencia energética, proponiendo un modelo que integra diversas tecnologías para optimizar el uso de recursos renovables en la reproducción de energía. En cambio el artículo (Cámara et al.) presenta el diseño de una microred eléctrica inteligente que integra sistemas de generación fotovoltaica, celdas de combustible y supercondensadores, conectados a un bus de corriente directa. Se caracteriza la radiación solar utilizando datos experimentales de una estación meteorológica, y la generación de energía se dimensiona según la demanda del edificio de Mecatrónica en la Universidad Autónoma de Yucatán. Además, se emplean redes neuronales artificiales para predecir la generación de potencia y la demanda energética, mejorando así la operación de la microred y contribuyendo a la gestión energética en un contexto de creciente demanda y sostenibilidad. Por otro lado el artículo (Sanchez et al.) presenta un proyecto que tiene como objetivo diseñar una microrred eléctrica basada en energías renovables para abastecer de electricidad a un área de concesión de la Empresa Eléctrica Regional Centro Sur. Se enfoca en la integración de tecnologías de energía convencional y renovable, destacando la importancia de las microrredes como sistemas independientes que pueden operar de manera autónoma o conectados a la red principal. La microrred propuesta tiene un consumo anual estimado de 35.702,31 kWh, lo que resalta la necesidad de soluciones sostenibles para satisfacer la demanda energética en áreas rurales. La Viabilidad Económica y Ambiental de la microrred es viable tanto desde el punto de vista económico como ambiental, lo que sugiere que puede ser implementado sin comprometer la sostenibilidad. En la actualidad (Bonilla, Gómez) propone el diseño de una microred inteligente para las comunidades rurales, inspirada en el modelo Whites Lanes Micro Grid. La microred utilizará varias familias campesinas, cada una equipada con paneles fotovoltaicos de 2 kW y medidores inteligentes para monitorear el consumo energético. La energía generada por

los paneles será gestionada por un transverter que controla el flujo entre diferentes fuentes de energía, incluyendo baterías, consumidores y la red eléctrica externa. La microred incluirá un sistema de almacenamiento con baterías para asegurar el suministro durante la noche y picos de demanda. Además, se instalará una estación de carga de vehículos eléctricos alimentada por veinticuatro paneles solares, con el objetivo de promover el uso de vehículos eléctricos y fomentar la infraestructura sostenible en la comunidad y el país.

1.4. Energía Solar Fotovoltaica

1.4.1. Fundamentos de Energía Solar Fotovoltaica

La energía solar fotovoltaica es una tecnología que permite la conversión directa de la luz solar en electricidad mediante el uso de materiales semiconductores. Este proceso, conocido como efecto fotovoltaico, fue descubierto en el año 1839 por el físico francés Alexandre Edmond Becquerel. El efecto fotovoltaico ocurre cuando los fotones de la luz solar inciden sobre un material semiconductor, generalmente silicio, y excitan a los electrones, generando un flujo de corriente eléctrica.

Las células solares, que constituyen los módulos fotovoltaicos, son el componente básico de un sistema fotovoltaico. Estas células están formadas por capas de materiales semiconductores, típicamente silicio cristalino o materiales compuestos como el telurio de cadmio (CdTe) y el seleniuro de cobre, indio y galio (CIGS). Cuando la luz solar golpea la célula, se liberan electrones, creando una corriente eléctrica que puede ser capturada y utilizada (Carlos Orbezo).

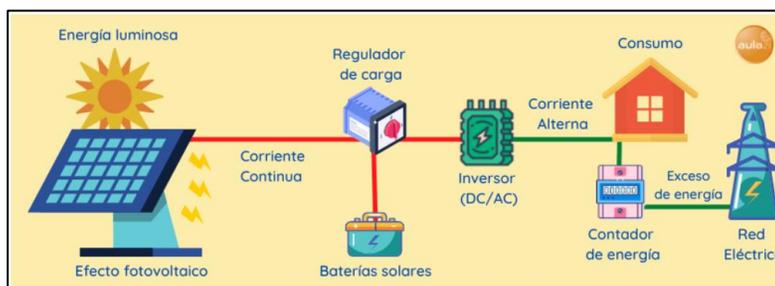


Figura 1: Ejemplo de instalación de energía solar fotovoltaica

Fuente: Energía Solar Fotovoltaica: qué es, para que sirve y cómo funciona (cursosaula21.com)

1.4.2. Componentes de un Sistema Fotovoltaico

Un sistema fotovoltaico está compuesto por varios componentes clave, que incluyen:

- **Módulos fotovoltaicos:** Conjunto de células solares interconectadas que capturan la energía solar y la convierten en electricidad. Los módulos se agrupan en arreglos que determinan la capacidad total del sistema.
- **Inversor:** Dispositivo que convierte la corriente continua (DC) generada por los módulos fotovoltaicos en corriente alterna (AC), que es el tipo de electricidad utilizada en la mayoría de los hogares y redes eléctricas.
- **Estructuras de montaje:** Sistemas que soportan los módulos fotovoltaicos, asegurándolos en la posición óptima para maximizar la captura de la luz solar.
- **Controladores de carga:** Dispositivos que regulan la energía acumulada en las baterías (en sistemas aislados de la red), protegiendo las baterías de sobrecargas y sobre descargas.
- **Baterías:** Opcional en sistemas conectados a la red, pero esenciales en sistemas aislados, las baterías almacenan la energía generada para su uso cuando no hay luz solar.
- **Medidores y dispositivos de monitoreo:** Instrumentos que permiten el seguimiento del rendimiento del sistema y la cantidad de energía producida y consumida (**Lamigueiro s. f.**) .

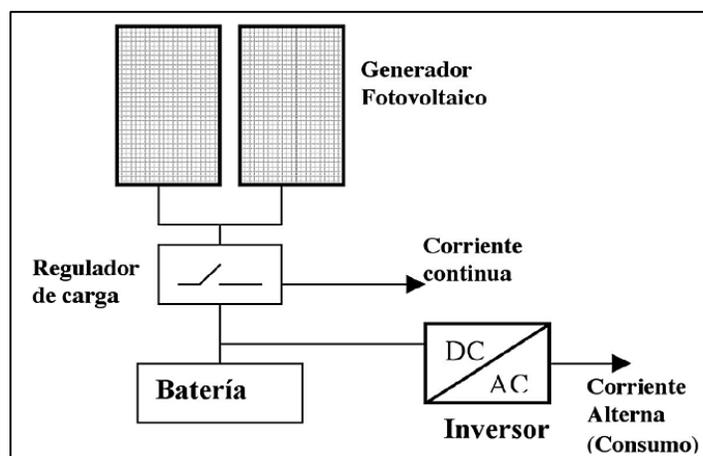


Figura 2: Componentes de un sistema solar fotovoltaica

Fuente: (Lamigueiro s. f.)

1.4.3. Tipos de Sistemas Fotovoltaicos

Existen tres tipos principales de sistemas fotovoltaicos:

- **Sistemas conectados a la red (on-grid):** Estos sistemas están conectados directamente a la red eléctrica, permitiendo que cualquier exceso de energía generada sea inyectado a la red y utilizada por otros consumidores. A su vez, la energía necesaria que no puede ser cubierta por el sistema fotovoltaico se toma de la red. Estos sistemas son comunes en áreas urbanas y suburbanas.
- **Sistemas aislados (off-grid):** Estos sistemas no están conectados a la red eléctrica y suelen utilizar baterías para almacenar la energía generada, para su uso durante la noche o en días nublados. Son ideales para ubicaciones remotas donde no hay acceso a la red eléctrica.
- **Sistemas híbridos:** Combinan características de los sistemas conectados a red y los sistemas aislados, utilizando baterías para almacenar energía y permitiendo la conexión a la red como respaldo (**Puig y Jofra s. f.**).

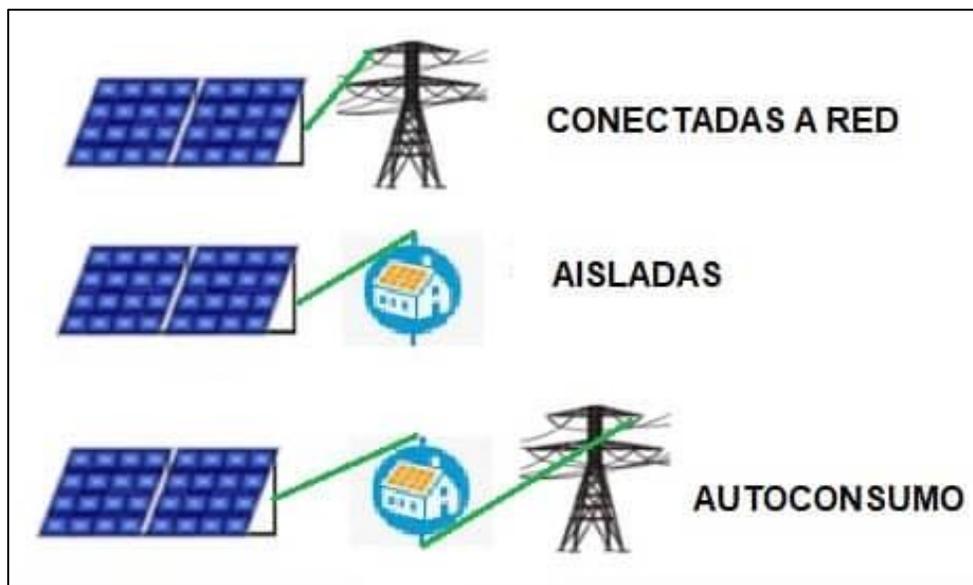


Figura 3: Tipos de sistemas fotovoltaicos

Fuente: (Puig y Jofra s. f.)

1.4.4. Aplicaciones de la Energía Solar Fotovoltaica.

La energía solar fotovoltaica posee una amplia gama de estudios, que incluyen:

- **Residencial:** Instalaciones en techos de viviendas que permiten a los propietarios generar su propia electricidad, reduciendo la dependencia de la red y las facturas de electricidad.
- **Comercial:** Grandes instalaciones en edificios comerciales, fábricas, y centros de datos que buscan reducir costos operativos y mejorar la sostenibilidad.
- **Industrial:** Sistemas de gran escala utilizados en la industria para suministrar energía a procesos productivos y reducir la huella de carbono.
- **Agrícola:** Aplicaciones en granjas para el bombeo de agua, electrificación rural, y alimentación de equipos agrícolas.
- **Proyectos a gran escala:** Parques solares que generan electricidad a gran escala y la suministran a la red eléctrica (**Anón 2009**).

1.4.5. Beneficios de la Energía Solar Fotovoltaica

- **Sostenibilidad:** La energía solar es una fuente renovable, inagotable y limpia, que no produce emisiones de gases de efecto invernadero en su operación.
- **Reducción de costos:** A medida que la tecnología fotovoltaica avanza, los costos de instalación y mantenimiento han disminuido, haciendo que la energía solar sea una opción competitiva y económica.
- **Independencia energética:** Los sistemas fotovoltaicos permiten a los usuarios generar su propia electricidad, reduciendo la dependencia de orígenes de energía fósiles y de fluctuaciones en los precios de la energía.
- **Flexibilidad y escalabilidad:** Los sistemas fotovoltaicos pueden ser instalados en una variedad de tamaños y configuraciones, adaptándose a diferentes necesidades y ubicaciones.
- **Tributo al desarrollo sostenible:** La implementación de energía solar contribuye a los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), promoviendo la energía asequible y no contaminante (**Anón s. f.-c**).

1.4.6. Desafíos y Consideraciones

A pesar de sus beneficios, la energía solar fotovoltaica enfrenta algunos desafíos:

- **Intermitencia:** La generación de electricidad depende de la disponibilidad de luz solar, lo que puede ser un desafío en regiones con climas nublados o durante la noche. Este problema se mitiga con el uso de baterías y sistemas híbridos.
- **Requerimiento de espacio:** Las plantas solares a gran escala requieren grandes áreas de terreno, lo que puede ser un desafío en áreas densamente pobladas.
- **Impacto ambiental y reciclaje:** Aunque el impacto ambiental de los sistemas fotovoltaicos es bajo en comparación con las fuentes de energía fósil, la producción y disposición de paneles solares plantea desafíos ambientales, especialmente en términos de reciclaje de materiales.
- **Costos iniciales:** Los costos iniciales han disminuido, la transformación inicial para la instalación de sistemas fotovoltaicos puede ser alta, aunque generalmente se compensa con ahorros a largo plazo (**Lamigueiro s. f.**).

1.4.7. Futuro de la Energía Solar Fotovoltaica

En el futuro, la energía solar fotovoltaica es prometedor, con constantes innovaciones en materiales, eficiencia, y almacenamiento de energía. Se espera que la energía solar juegue un papel crucial en la transición global hacia un sistema energético más limpio y sostenible, contribuyendo a la mitigación del canje climático y al progreso económico global (Puig y Jofra s. f.).

1.5. Fundamentos del Diseño de Sistemas Fotovoltaicos

El diseño de sistemas fotovoltaicos es un proceso complejo que abarca desde la evaluación inicial de las condiciones locales hasta la instalación y puesta en marcha del sistema. Para lograr un diseño óptimo, es fundamental comprender los principios básicos que guían la selección de componentes, la configuración del sistema, y la estimación de su rendimiento a lo largo del tiempo (Anón s. f.-d).

1.6. Evaluación del Recurso Solar

Lo primordial en el diseño de un sistema fotovoltaico es la evaluación del recurso solar disponible en la ubicación del proyecto. Esto implica:

- **Radiación Solar:** El conjunto de energía solar que falta sobre una superficie, medida en kilovatios/hora x metro cuadrado (kWh/m²). La radiación solar puede ser directa, difusa o reflejada, y es fundamental para estimar la energía que el sistema puede generar.
- **Base de Datos de Radiación:** Se utilizan bases de datos como, Meteonorm 8.1, NASA Y PVGIS, para obtener datos históricos de radiación solar en la ubicación específica del proyecto. Estos datos permiten realizar simulaciones precisas y ajustar el diseño del sistema a las condiciones reales.
- **Condiciones Climáticas:** Factores como la temperatura, la humedad, la nubosidad afectan el rendimiento de los módulos fotovoltaicos. Es necesario considerar estas variables para ajustar las estimaciones de generación de energía (**Lamigueiro s. f.**).

1.7. Determinación de la Carga Energética

Una vez evaluado el recurso solar, es necesario determinar la demanda energética que el sistema fotovoltaico debe satisfacer. Esto incluye:

- **Perfil de Consumo:** Análisis de abastecimiento de energía eléctrica en la ubicación, desglosado por hora, día, y estación del año. Esto permite dimensionar el sistema según las necesidades energéticas específicas.
- **Carga Pico:** La máxima demanda de energía en un momento determinado. El sistema debe estar dimensionado para satisfacer esta demanda, o complementarse con otras fuentes de energía o almacenamiento.
- **Eficiencia Energética:** Es recomendable considerar medidas de eficiencia energética, para comprimir la demanda antes de dimensionar el sistema, lo que puede resultar en un sistema más económico y eficiente (**Puig y Jofra s. f.**).

1.8. Selección de Componentes

El diseño de un sistema fotovoltaico incluye la selección cuidadosa de los componentes principales:

1.8.1 Módulos Fotovoltaicos:

La selección de los módulos depende de factores como la eficiencia, la durabilidad, y el costo. Los módulos de silicio monocristalino ofrecen alta eficiencia, mientras que los de silicio policristalino son más económicos.

También se deben considerar módulos bifaciales que capturan luz por ambas caras, aumentando la producción en ciertos entornos **(Anón s. f.-b)**.

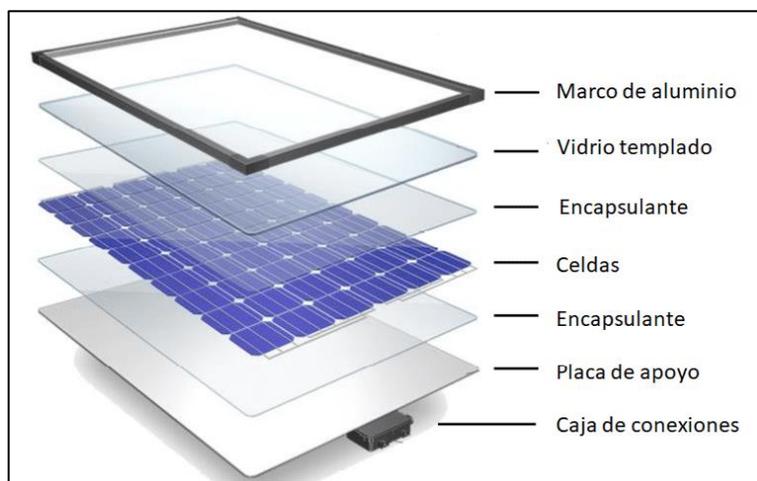


Figura 4: Partes de un módulo fotovoltaico

Fuente: (Anón s. f.-b)

1.8.2 Inversores:

Los inversores convierten la corriente continua (DC), creada por los módulos en corriente alterna (AC). Existen varios tipos de inversores, incluidos los inversores centrales, de cadena, y micro inversores, cada uno con sus ventajas y desventajas en términos de eficiencia, costos, y flexibilidad de diseño **(Lamigueiro s. f.)**.



Figura 5: Modelo de Inversores

Fuente: (Lamigueiro s. f.)

1.8.3 Estructuras de Montaje:

Las estructuras deben garantizar que los módulos estén inclinados y orientados de manera óptima para maximizar la captura de luz solar. También deben ser robustas para resistir las condiciones climáticas locales, como viento y nieve (Branker, Pathak, y Pearce 2011).

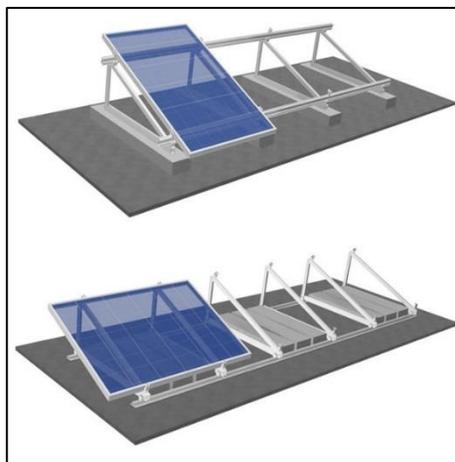


Figura 6: Estructura para las bases de los paneles fotovoltaicos

Fuente: (Branker et al. 2011)

1.8.4 Cableado y Protección:

Es esencial dimensionar adecuadamente el cableado y los sistemas de protección eléctrica (fusibles, interruptores, etc.) para certificar la seguridad y la eficacia del sistema (Lamigueiro s. f.).



Figura 7: Cables para la instalación de sistemas fotovoltaicos

Fuente: (Lamigueiro s. f.)

1.9. Optimización del Ángulo y Orientación de los Módulos

La eficiencia del sistema fotovoltaico, depende la medida de orientación y el ángulo de inclinación de los módulos solares:

1.9.1 Orientación:

En el hemisferio norte, los módulos deben situar hacia el sur para maximizar la exposición al sol, mientras que, en el hemisferio sur, deben colocar hacia el norte. En ubicaciones cercanas al ecuador, la orientación puede ajustarse ligeramente hacia el este o el oeste para maximizar la producción durante las horas de mayor consumo.

1.9.2 Ángulo de Inclinación de los módulos:

El ángulo insuperable de inclinación depende de la latitud en el sitio. Un ángulo igual a la latitud suele ser una buena aproximación, aunque puede ajustarse según la estacionalidad del recurso solar o las necesidades energéticas específicas. Sistemas de seguimiento solar pueden ajustar dinámicamente el ángulo para maximizar la producción a lo largo del día y del año (**Anón s. f.-b**).

1.10. Dimensionamiento del Sistema

El dimensionamiento del sistema implica calcular el número de módulos, necesarios para satisfacer la demanda energética:

1.10.1 Cálculo de Energía Generada:

La energía generada por un el procedimiento fotovoltaico se calcula multiplicando la potencia pico del sistema (en kW) por las horas solares pico (HSP) de la ubicación, ajustada por factores de pérdidas (como la temperatura, el polvo, y la eficiencia del inversor).

1.10.2 Factor de Pérdida:

Incluye todas las pérdidas que ocurren desde la captación de la radiación solar hasta la entrega de la energía a la red o al sistema de almacenamiento. Factores como la degradación de los módulos, las sombras parciales, y las pérdidas en el inversor afectan la producción final de energía.

1.10.3 Redundancia y Escalabilidad:

En el diseño se deben considerar posibles expansiones futuras del sistema, así como redundancias que garanticen la continuidad del suministro en caso de fallos en algunos componentes (**Branker et al. 2011**).

1.11. Simulación y Validación

Antes de la implementación, se realizan simulaciones para predecir el rendimiento del sistema bajo diferentes condiciones:

1.11.1 Software de Simulación:

Herramientas como PVsyst, SAM (System Advisor Model), y RETScreen permiten simular el rendimiento del sistema fotovoltaico utilizando los datos de radiación solar y otros parámetros específicos del proyecto.

1.11.2 Validación de Datos:

Los resultados de las simulaciones deben validarse con datos reales si están disponibles. Esto puede incluir la comparación con datos históricos o mediciones in situ.

1.11.3 Optimización del Diseño:

Con base en los resultados del análisis, se logra hacer ajustes en el diseño para mejorar la eficiencia o reducir los costos, garantizando un equilibrio entre rendimiento y viabilidad económica (**Sánchez et al. s. f.**).

1.12. Bases de Datos de Irradiación Solar

Las bases de datos de irradiación solar proporcionan información esencial para el diseño de sistemas fotovoltaicos, al ofrecer estimaciones de la radiación solar disponible en una determinada ubicación. Existen varias bases de datos globales, como la proporcionada por la Meteonorm 8.1, NASA Y PVGIS. Estas bases de datos se construyen utilizando una combinación de mediciones directas y modelos de simulación, y suelen variar en cuanto a resolución temporal, espacial y precisión. La selección de la base de datos más adecuada para un proyecto específico puede tener un impacto significativo en el diseño y rendimiento del sistema (Castro s. f.).

1.13. Comparación de Bases de Datos

Cada base de datos de radiación solar tiene sus propias metodologías para la recolección y procesamiento de datos. La precisión de estas bases puede variar dependiendo de la resolución espacial y temporal, los modelos atmosféricos utilizados, y la disponibilidad de datos locales. Por ejemplo, PVGIS es conocida por su alta resolución espacial y precisión en regiones complejas, mientras que la base de datos de la NASA es ampliamente utilizada debido a su cobertura global y accesibilidad gratuita (Anón s. f.-a).

1.14. Importancia en el Diseño Fotovoltaico

La selección de la base de datos correcta es crucial para el diseño de sistemas fotovoltaicos, ya que influye directamente en la estimación del recurso solar disponible, que a su vez afecta el dimensionamiento de los componentes del sistema y la predicción del rendimiento energético. Un diseño basado en datos inexactos puede llevar a una subestimación o sobreestimación de la energía producida, lo que afectaría la viabilidad técnica y económica del proyecto (Rodríguez Gámez et al. 2018).

1.15. Factores Climáticos y Geográficos

Píntag, situado en la región andina del Ecuador, presenta características climáticas y geográficas específicas que deben ser consideradas en el diseño de una planta fotovoltaica. La altitud, la nubosidad, la temperatura ambiente y las variaciones estacionales son factores que pueden influir en la disponibilidad de radiación solar y, por ende, en el rendimiento de un sistema fotovoltaico. El análisis de estos factores es esencial para asegurar que el diseño del sistema sea adecuado para las condiciones locales (Castro s. f.).

1.16. Rendimiento y Eficiencia de Sistemas Fotovoltaicos

El rendimiento de un sistema fotovoltaico se mide por la cantidad de energía eléctrica generada en relación con la energía solar incidente. La eficiencia del sistema está influenciada por múltiples factores, incluyendo la calidad de los paneles solares, la configuración del sistema, las pérdidas por temperatura y sombras, y la precisión de los datos de radiación solar utilizados en el diseño (Anón s. f.-b).

1.17. Viabilidad Técnica

La viabilidad técnica de un proyecto fotovoltaico se refiere a la capacidad del sistema para generar la energía necesaria de manera eficiente y confiable. La viabilidad económica, por otro lado, se centra en el análisis de costos, incluyendo la inversión inicial, los costos operativos y de mantenimiento.

CAPÍTULO II

MARCO METODOLÓGICO

2.1 Enfoque Metodológico

El presente proyecto adoptará un enfoque cuantitativo, dado que implica la recolección y análisis de datos numéricos para el diseño del sistema fotovoltaico. Se utilizará un método comparativo para analizar las diferentes bases de datos de radiación solar y evaluar su impacto en el rendimiento del sistema.

2.2 Tipo de la Investigación

La investigación, será de tipo descriptiva y exploratoria. Descriptiva porque se describirá y analizará la información proveniente de las diferentes bases de datos de radiación solar, y exploratoria porque se buscará identificar cuál de estas bases de datos proporciona las estimaciones más precisas para el sector de Píntag.

2.3 Diseño de la Investigación

El prototipo de la investigación será, no experimental y transversal. No empírico porque no se manipularán las variables de manera directa, sino que se observarán y analizarán los datos tal como se presentan. Transversal porque se realizará un análisis en un punto específico en el tiempo, considerando las condiciones actuales y las bases de datos disponibles.

2.4 Población y Muestra de la aplicación

- **Población:** La localidad de estudio incluye todas las bases de datos de radiación solar globalmente reconocidas y accesibles, que proporcionan información para el sector de Píntag.
- **Muestra:** Se seleccionará una muestra de principales BDD de irradiación solar utilizadas en proyectos fotovoltaicos, tales como Meteonorm 8.1, NASA Y PVGIS. Se seleccionarán estas bases de datos por su relevancia y disponibilidad para la región andina.

2.5 Instrumentos de Recaudación de Datos

Para ello se utilizarán los siguientes instrumentos:

- **Herramientas de software:** Programas como PVSyst, se emplearán para simular el rendimiento energético de la planta fotovoltaica utilizando los datos de irradiación de cada BDD.
- **Documentación técnica:** Se revisará la documentación técnica de cada base de datos para comprender sus metodologías y parámetros utilizados en la estimación de radiación solar.
- **Datos climáticos locales:** Se recopilarán datos climáticos locales de Píntag, como temperatura, humedad, y nubosidad, para ajustar las simulaciones y validar las identificaciones de las BDD seleccionadas.

2.6 Procedimiento

2.6.1 Recolección de Datos:

Se accederá a las diferentes BDD de irradiación solar para obtener las identificaciones correspondientes en el sector de Píntag. También se obtendrá los datos climáticos locales a través de estaciones meteorológicas.

2.6.2 Cálculo de acuerdo a las necesidades del usuario

Para la elaboración del proyecto de la planta fotovoltaica de 10kVA en el sector de Píntag, utilizaremos las bases de datos meteorológicos, los cálculos principales a realizar son:

2.6.2.1 Determinación de la Irradiancia Solar para diseño:

Determinar la irradiancia solar en la ubicación (Píntag) utilizando diferentes bases de datos meteorológicos (Meteonorm 8.1, NASA Y PVGIS).

2.6.2.2 Determinación de las necesidades del usuario:

Se detalla todos los equipos con sus respectivas potencias y el número de horas diarias de uso

$$E_1 := N_1 \cdot P_1 \cdot t_1$$

Donde:

E_I : Energía en watios hora/día

N_I : Numero de equipos

P_I : Potencia en watios

t_I : Tiempo de uso diario en horas

2.6.2.3 Determinación de las pérdidas totales del sistema:

Aquí se incluye las pérdidas en el cableado, en los inversores, y pérdidas debido a la inclinación y orientación de los paneles

2.6.2.4 Carga energética máxima del sistema:

$$C_{max} := \frac{N_{usuario}}{K_T}$$

Donde:

C_{max} : Carga máxima del sistema

$N_{usuario}$: Carga consumida por usuarios

K_T : Porcentaje de pérdidas totales del sistema

2.6.2.5 Disposición de la capacidad solar disponible:

Para el prototipo de una planta fotovoltaica eficiente, es crucial determinar la energía solar disponible, en la ubicación específica del proyecto. En el caso del sector de Píntag, se utilizarán datos meteorológicos de diferentes fuentes, para evaluar la irradiación solar promedio anual y otros parámetros relevantes.

2.6.3 Dimensionado del sistema de inversión para la Microred:

Para dimensionar el sistema de inversión para la microred que utilizará la planta fotovoltaica de 10kVA, necesitamos considerar varios aspectos técnicos y

financieros.

Demanda Energética: Calcula la demanda energética esperada de la microred. Esto incluye la carga base y las puntas de consumo durante el día.

2.7 Simulación del Sistema Fotovoltaico:

Diseño preliminar de la planta fotovoltaica de 10 KVA utilizando un software de simulación PVSyst. Implementación de los datos de irradiación de cada BDD en el software para simular el rendimiento del sistema.

2.8 Análisis Comparativo:

Realizar la verificación de los resultados que se ha obtenidos en las simulaciones para cada base de datos.

Evaluación de las diferencias en términos de rendimiento energético, eficiencia del sistema.

2.9 Validación:

Validación de los resultados de las simulaciones con datos de radiación solar medidos localmente, si están disponibles, o con datos históricos fiables.

Ajuste del diseño del sistema en función de los resultados de la validación.

2.10 Análisis de Datos

El análisis de los datos se realizará utilizando técnicas estadísticas y comparativas. Se calcularán indicadores clave como la energía producida (kWh), el rendimiento energético, la eficiencia del sistema, y los costos-beneficios asociados. Los resultados se interpretarán para determinar cuál base de datos proporciona las mejores estimaciones para el diseño de la planta fotovoltaica en Píntag.

2.11 Recursos

2.11.1 Humanos:

Equipo de investigación especializado en energía solar, ingenieros eléctricos, y analistas de datos.

2.11.2 Materiales:

Computadoras con software especializado (PVSyst, Word, Excel), acceso a internet, y documentación técnica.

2.11.3 Financieros:

Presupuesto para la adquisición de software, acceso a bases de datos especializadas, y otros costos operativos.

2.11.4 Limitaciones

- Disponibilidad de datos climáticos locales precisos para Píntag.
- Acceso a bases de datos de radiación solar de alta resolución y precisión.
- Limitaciones en la simulación que podrían no captar todos los factores que afectan el rendimiento real del sistema.

2.12 Metodología aplicada.

La metodología para el desarrollo del proyecto se estructura en varias etapas que van desde la recopilación de datos hasta la simulación y análisis del diseño. A continuación, se detallan los pasos metodológicos:

2.12.1 Recolección de Información y Evaluación del Recurso Solar

Selección de Bases de Datos de Radiación: Se seleccionarán diferentes bases de datos de radiación solar, como Meteonorm 8.1, NASA Y PVGIS, para obtener datos históricos y actuales del recurso solar en la zona de Píntag.

Validación de Datos: Se realizarán comparaciones entre las bases de datos seleccionadas y se validarán con mediciones in situ, si están disponibles. Esto asegurará la precisión en la estimación del recurso solar.

Análisis de Radiación Solar: Se analizará la radiación solar promedio anual y estacional en el área de estudio, considerando variables como radiación directa, difusa, y global.

2.12.2 Determinación de la Demanda Energética

Perfil de Consumo Energético: Se realizará un estudio del perfil de consumo energético de la instalación a la que se destinará la planta fotovoltaica. Se evaluarán los picos de demanda y las necesidades diarias y estacionales.

Proyección de Crecimiento: Se considerarán posibles incrementos futuros en la demanda energética para dimensionar adecuadamente la planta.

2.12.3 Diseño del Sistema Fotovoltaico

Selección de Componentes: Se seleccionarán los componentes principales del sistema, incluyendo módulos fotovoltaicos, inversores, estructuras de soporte.

Dimensionamiento del Sistema: Utilizando los datos de radiación y el perfil de consumo, se calculará la cantidad de módulos necesarios y la potencia total del sistema. Se tendrá en cuenta el factor de pérdida y la eficiencia global del sistema.

Optimización del Ángulo y Orientación: Se determinarán el ángulo de inclinación y la orientación óptima de los módulos para maximizar la captación solar, considerando la latitud y topografía del sector de Píntag.

2.12.4 Simulación y Análisis de Rendimiento

Modelado del Sistema: Se emplearán softwares especializados como PVsyst para modelar el sistema fotovoltaico. Se realizarán simulaciones bajo diferentes escenarios utilizando los datos de radiación obtenidos de las diferentes bases de datos.

Análisis Comparativo: Se compararán los resultados obtenidos en las simulaciones para cada base de datos, evaluando la variabilidad en la producción de energía y la fiabilidad del sistema.

Optimización del Diseño: Basado en los resultados de las simulaciones, se realizarán ajustes en el diseño del sistema para maximizar la generación de energía y optimizar los costos.

2.12.5 Análisis Económico y Financiero

Cálculo de Costos: Se estimarán los costos de inversión inicial, operación, y mantenimiento del sistema. Se incluirán posibles costos asociados a la obtención de permisos y la conexión a la red eléctrica.

2.12.6 Documentación y Reporte Final

Elaboración de Informe Técnico: Se redactará un informe detallado que incluya todos los aspectos técnicos, económicos y operativos del proyecto.

Presentación de Resultados: Se presentarán los resultados del proyecto a los interesados, incluyendo recomendaciones para el mantenimiento y posibles

mejoras futuras.

2.12.7 Normativas.

Para el diseño de una planta fotovoltaica de 10 kVA en el sector de Píntag, es fundamental cumplir con una serie de normativas y estándares para garantizar la seguridad, la eficiencia y la legalidad del proyecto. A continuación, se detallan las normativas relevantes que deben considerarse:

2.13 Normativa Nacional

2.13.1 Reglamento de Generación de Energía Eléctrica

Con Fuentes Renovables (Ecuador)

Descripción: Este reglamento establece las normas para la generación de energía eléctrica a partir de fuentes renovables, incluyendo la energía solar fotovoltaica. Regula aspectos como la conexión a la red eléctrica, las tarifas de alimentación, y los requisitos técnicos.

Referencia: Reglamento de Generación de Energía Eléctrica con Fuentes Renovables - Ecuador

2.13.2 Código Nacional de Electricidad (Ecuador)

Descripción: Proporciona los requisitos técnicos y de seguridad para la instalación de sistemas eléctricos, incluyendo sistemas fotovoltaicos. Abarca la normativa para la conexión a la red, la protección de equipos y la seguridad eléctrica.

Referencia: Código Nacional de Electricidad – Ecuador

2.13.3 Reglamento de Seguridad y Salud en el Trabajo (Ecuador)

Descripción: Establece las normas de seguridad y salud que deben seguirse durante la instalación y operación de sistemas fotovoltaicos, asegurando la protección de los trabajadores y la prevención de riesgos.

Referencia: Reglamento de Seguridad y Salud en el Trabajo – Ecuador

2.13.4 Normativa Internacional

2.13.4.1 Normas de la Comisión Electrotécnica Internacional (IEC)

IEC 61215: Especificaciones para el diseño y fabricación de módulos

fotovoltaicos. Asegura que los módulos sean capaces de operar en condiciones reales durante su vida útil. IEC 61730: Requisitos para la seguridad de módulos fotovoltaicos, incluyendo pruebas para garantizar la seguridad de los módulos en diferentes condiciones ambientales.

Referencia: Comisión Electrotécnica Internacional (IEC)

2.13.4.2 Estándar IEEE 1547

Descripción: Define los requisitos para la interconexión de sistemas de generación distribuida (incluyendo fotovoltaicos) con redes eléctricas. Establece normas para la calidad de la energía y la protección de la red.

Referencia: IEEE 1547

2.13.4.3 Normas UL (Underwriters Laboratories)

UL 1703: Estándar para módulos fotovoltaicos, especifica los requisitos de seguridad para la fabricación y el rendimiento de los módulos.

UL 1741: Estándar para inversores y otros equipos de conversión de energía en sistemas fotovoltaicos.

Referencia: Underwriters Laboratories (UL)

2.14 Documentación y Permisos

2.14.1 Licencia de Construcción e Instalación

Descripción: Permiso requerido para la construcción e instalación de la planta fotovoltaica, que debe obtenerse a nivel local en el sector de Píntag.

2.14.2 Certificación de Conformidad

Descripción: Certificación que confirma que el sistema cumple con todas las normativas y estándares requeridos antes de su puesta en marcha.

2.15 Procedimientos Adicionales

2.15.1 Normas de Calidad y Eficiencia:

Seguir las recomendaciones de la International Renewable Energy Agency (IRENA) y otras organizaciones para asegurar la calidad y eficiencia del sistema fotovoltaico.

2.15.2 Manual de Instalación del Fabricante:

Cumplir con las directrices específicas del fabricante para la instalación y mantenimiento de los módulos fotovoltaicos e inversores.

CAPÍTULO III

PROPUESTA DEL DESARROLLO DEL PROYECTO TÉCNICO

3.1 Fundamentos de la propuesta

3.1.1 Fundamentación Técnica

El diseño de una planta fotovoltaica de 10 kVA en el sector de Píntag se basa en la capacidad de esta tecnología para convertir la radiación solar en electricidad de manera eficiente y sostenible. La energía solar fotovoltaica es una de las soluciones más viables para el suministro de electricidad en áreas rurales donde la infraestructura eléctrica es limitada o inexistente.

El uso de diferentes bases de datos de radiación solar es crucial para optimizar el diseño del sistema fotovoltaico. Bases de datos como Meteonorm 8.1, NASA Y PVGIS, proporcionan información precisa sobre la irradiación solar, temperatura y condiciones climáticas locales, lo que permite dimensionar correctamente los paneles solares y el sistema en general. El análisis comparativo de estas bases de datos ofrece una ventaja significativa para seleccionar los mejores recursos solares y adaptar el diseño de la planta a las condiciones reales del sector de Píntag.

3.1.2 Fundamentación Económica

El uso de energía fotovoltaica reduce la dependencia de fuentes de energía fósil y de redes eléctricas convencionales, lo que representa una solución económica a largo plazo. Aunque el costo inicial de instalación de una planta fotovoltaica puede ser elevado, los bajos costos de operación y mantenimiento, junto con la vida útil prolongada de los sistemas solares, hacen que el retorno de la inversión sea favorable. En zonas rurales como Píntag, donde las conexiones a la red son limitadas y costosas, una planta fotovoltaica de 10 kVA puede proporcionar una fuente de electricidad autónoma, reduciendo los costos energéticos y mejorando la calidad de vida de los habitantes.

Además, el proyecto puede contribuir a la economía local mediante la creación de empleo en la instalación y mantenimiento del sistema, además de fomentar el desarrollo económico sostenible en la región.

3.1.3 Fundamentación Social

El acceso a una fuente confiable de electricidad es un factor clave para mejorar el bienestar social y económico de las comunidades rurales. La implementación de una planta fotovoltaica en Píntag ofrecerá un suministro eléctrico estable para actividades residenciales, comerciales y comunitarias. Además, puede servir para mejorar el acceso a tecnologías educativas, salud, y actividades productivas, ayudando a cerrar la brecha de desigualdad entre áreas urbanas y rurales.

El proyecto también tiene un componente educativo importante, ya que fomenta la sensibilización de la comunidad local sobre las energías renovables y su uso sostenible. La instalación de una planta fotovoltaica puede inspirar la adopción de energías renovables en otras áreas rurales, generando un impacto positivo a nivel regional.

3.1.4 Fundamentación Normativa

El proyecto se fundamenta en las normativas internacionales y nacionales relacionadas con las energías renovables y la eficiencia energética. En Ecuador, la Ley de Eficiencia Energética y las políticas públicas promueven la integración de energías limpias en la matriz energética nacional. Las normas técnicas establecidas por la Agencia de Regulación y Control de Electricidad (ARCONEL) y otras entidades reguladoras aseguran que el diseño, instalación y operación de la planta fotovoltaica cumpla con los estándares de seguridad y eficiencia requeridos.

Además, las directrices de organismos internacionales como la Agencia Internacional de Energía Renovable (IRENA) y los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) respaldan la promoción de proyectos de energía renovable en áreas rurales, en particular aquellos que contribuyen a reducir la pobreza energética y mejoran el acceso a electricidad sostenible.

3.1.5 Presentación de la propuesta

El proyecto propone como una solución sostenible para mejorar el suministro eléctrico en la zona rural de Píntag. Esta iniciativa surge de la necesidad de integrar fuentes de energía renovables en la red eléctrica local, contribuyendo a la reducción de emisiones de carbono y fomentando el desarrollo energético sostenible.

El objetivo principal es diseñar una planta fotovoltaica de 10 kVA, aprovechando

distintas bases de datos meteorológicos para optimizar el rendimiento energético y asegurar la viabilidad del sistema. Se analizarán datos como la irradiación solar, temperatura, y humedad, entre otros, para dimensionar adecuadamente el sistema y garantizar una inyección eficiente de energía en la microred.

El estudio incluye la recopilación y análisis de datos meteorológicos de diversas fuentes, la selección de componentes fotovoltaicos adecuados, y la implementación de simulaciones para predecir el comportamiento energético de la planta. Se prestará especial atención a las características geográficas y climáticas del sector de Píntag, así como a las necesidades energéticas de la comunidad.

Finalmente, se espera que la planta fotovoltaica contribuya significativamente a la reducción de la dependencia de fuentes de energía convencionales, mejorando la estabilidad y calidad del servicio eléctrico en la región, y sirva como modelo replicable para otras zonas rurales del país.

3.2 Ejecución de la propuesta

El dimensionado e instalación de la planta fotovoltaico requiere de un sitio detallado del emplazamiento, considerando las actividades de los clientes, el perfil de cargas, la ubicación geográfica y la radiación solar. En el caso específico de este sitio de estudio ubicado en la provincia de Pichincha, cantón Quito, Parroquia de Píntag, cuenta con una temperatura promedio entre 10°C y 25°C, se propone instalar un sistema fotovoltaico para dotar de servicio de energía a la microred, con una inclinación de 25 grados y un ángulo acimutal de 0 grados. En este sector se utiliza principalmente como vivienda de uso doméstico, pero también existe el servicio de alumbrado público. Se ha creado un perfil de consumo basado en esta información y en los datos proporcionados por los, moradores del sector, dividido en tres periodos de actividades significativos. Estos datos se ingresan en el programa PVSyst para diseñar el sistema de generación fotovoltaico.

3.2.1 Ubicación geográfica:

El sitio se encuentra en las siguientes coordenadas geográficas, sistema de datos **WGS84, Zona 17 M. coordenadas: X=794733, Y=9963684**

3.2.2 Croquis de ubicación del emplazamiento

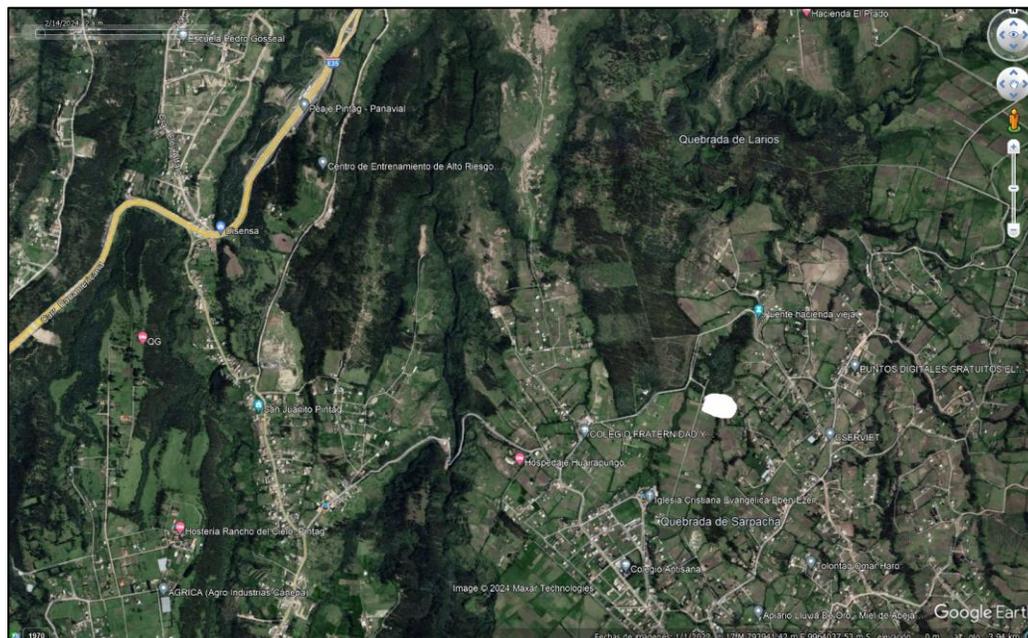


Figura 8: Croquis de ubicación

Fuente: Google Earth

3.2.3 Levantamiento de la red existente

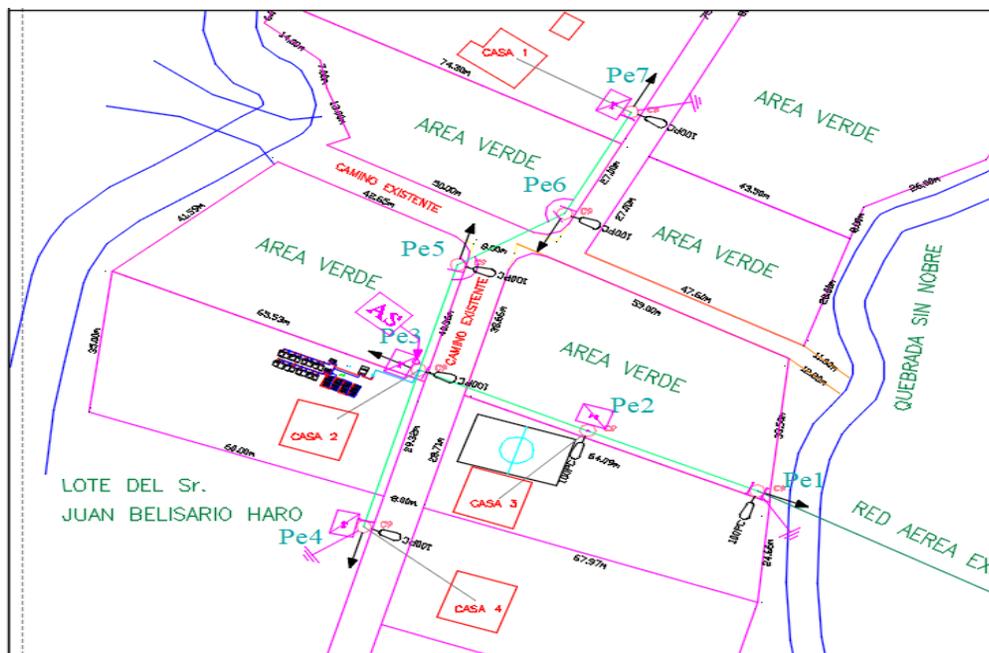


Figura 9: Levantamiento de la microred existente

Fuente: Elaboración propia.

3.2.4 Estudio de carga y demanda

Tabla 1: Demanda de diseño para 4 usuarios tipo C

CALCULO DE LA DEMANDA USUARIOS RESIDENCIALES			
DATOS		DETALLE	
DMD	=	8,32	Demanda Máxima Diversificada para 4 usuarios estrato Tipo C
DAP	=	0,7	Demanda Alumbrado Público (KW)
DPT	=	0,3	Demanda Perdidas Técnicas
FP	=	0,95	Factor de Potencia cargas residencial
DD (KVA)	=	9,81	Demanda de Diseño

Fuente: Normas EEQ Diseño parte A

3.3 Selección de los Materiales y Equipos

3.3.1 Selección del inversor:

Para este proyecto se ha proyectado el Inversor Red Growatt MIN 10000TL-X ya que es un inversor monofásico de autoconsumo, diseñado para conexiones a la red eléctrica. Tiene la capacidad de salida de hasta 10.000W, dependiendo de la radiación solar disponible. Su principal ventaja es el equilibrio entre su precio accesible y alta calidad de fabricación, lo que lo convierte en una opción económica para instalaciones fotovoltaicas de autoconsumo. Este inversor requiere una red eléctrica preexistente para funcionar y es adecuado para redes monofásicas. Una de sus características destacadas es que incluye 3 reguladores MPPT independientes, lo que proporciona flexibilidad en el diseño y distribución de los paneles solares, permitiendo conexiones con distintas orientaciones y características eléctricas. Además, el inversor tiene un diseño compacto y moderno, lo que facilita su instalación en cualquier espacio.



Figura 10: Inversor Monofásico/Bifásico De Red 10kva
Fuente: HELIOS - Heliostategiaecuador

3.3.2 Selección de los paneles fotovoltaicos:

Para este diseño se ha proyectado el panel solar monocristalino Longi 375W LR4-60HPH 375/MR ya que es una excelente opción para instalaciones solares de autoconsumo e industriales, con una alta eficiencia de conversión de hasta 20.56%. Está fabricado con silicio monocristalino y un marco de aluminio anodizado, lo que asegura durabilidad y resistencia. Utiliza tecnología avanzada como las células solares de 9 bus bar, que mejoran la eficiencia y reducen el riesgo de grietas. Además, la tecnología PERC permite captar más irradiación solar, optimizando el rendimiento, especialmente en condiciones de baja radiación solar. Este panel es compatible con baterías de litio, plomo-ácido y GEL/AGM, lo que lo convierte en una opción versátil para diversas aplicaciones solares.

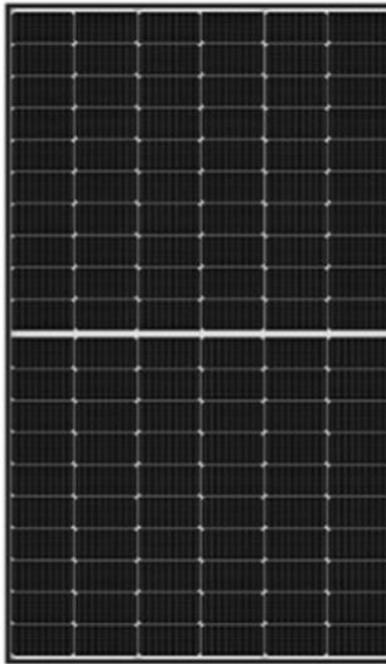


Figura 11: Panel solar Longi 375W LR4-60HPH 375/MR
Fuente: Panel solar Longi 375W LR4-60HPH 375/MR - Mono PERC

3.3.3 Selección de la estructura para el montaje:

Las estructuras para los paneles son muy importantes en la instalación de los paneles fotovoltaicos, ya que fijan los paneles a una superficie adecuada para maximizar la captación de radiación solar y mejorar la eficiencia del sistema. Estas estructuras, fabricadas comúnmente en aluminio o bloques de hormigón, no solo fijan los paneles, sino que también los protegen de daños mecánicos y deterioro, con una orientación adecuada de acuerdo a las necesidades del sistema, garantizando eficiencia y seguridad.



Figura 12: Ubicación de las Estructuras para paneles solares a 15° de inclinación
Fuente: Estructuras para paneles solares: Ventajas, tipos, montaje y más (tunergia.es)

3.3.4 Selección de los conductores

Para este proyecto se ha previsto el cable de cobre de extensión de 2,5 mm, a 10 mm² con conector de corriente continua ya que es una solución ideal para cumplir los requerimientos de este sistema fotovoltaico. Este cable ofrece una conductividad premium y es resistente a la oxidación y a las inclemencias del tiempo. Está diseñado específicamente para aplicaciones solares y es adecuado para conectar paneles solares en diversas configuraciones, ya sea en hogares, negocios o vehículos recreativos. El cable, garantiza la transmisión eficiente de energía, con un diseño robusto que soporta condiciones exteriores adversas, asegurando durabilidad a largo plazo.



Figura 13: Alambre de cobre con conector cable de CC 2.5-10mm
Fuente: Proveedores y fabricantes de productos al por mayor de conectores

3.4 Cálculo y simulación del Inversor para el sistema

3.4.1 Cálculo del inversor

El cálculo del inversor se lo realizó en base a los requerimientos del sistema y aplicando las tablas de consumo de usuario de las normas de la Empresa Eléctrica Quito que se encuentra detallada en la Tabla1 adjunta al diseño. La demanda de diseño es de 9,81 KVA por ende se proyecta un inversor de 10 KVA para abastecer del requerimiento para los 4 usuarios.

3.4.2 Simulación para la selección del inversor en el PVSyst

Para la simulación en el PVSyst de igual manera se realizó con la demanda de 10 KVA obteniendo los siguientes resultados.

System summary					
Grid-Connected System		No 3D scene defined, no shadings			
PV Field Orientation		Near Shadings		User's needs	
Fixed plane		No Shadings		Daily household consumers	
Tilt/Azimuth	25 / 0 °			Seasonal modulation	
				Average	
				2.3 kWh/Day	
System information					
PV Array			Inverters		
Nb. of modules		28 units		Nb. of units	1 unit
Pnom total		10.50 kWp		Pnom total	9.99 kWac
				Grid power limit	10.00 kWac
				Grid lim. Pnom ratio	1.050
Results summary					
Produced Energy	16789.96 kWh/year	Specific production	1599 kWh/kWp/year	Perf. Ratio PR	83.91 %
Used Energy	844.44 kWh/year			Solar Fraction SF	51.97 %
Apparent energy	16351.12 kVAh/year				

Figura 14: Resultados de la simulación del inversor

Fuente: Software PVSyst

De esta manera se recomienda proyectar un inversor con las siguientes características:

Datos de entrada (CD)

Máxima potencia FV recomendada: 15.000W

Máximo voltaje CD: 600V

Voltaje nominal: 360V

Voltaje de arranque: 100V

Número de MPPTs: 3
 Cadenas por MPPT: 1
 Máxima corriente por MPPT: 27A
 Corriente de corto circuito por MPPT: 33.8A

Datos de Salida (CA):

Potencia nominal CA: 10.000W
 Potencia aparente máxima: 10.000VA
 Voltaje nominal CA (Rango*): 240V
 Frecuencia de red CA (Rango*): 60Hz
 Corriente máxima de salida: 45.5 A
 Factor de potencia nominal/ajustable: 0.8
 Distorsión armónica total: menor a 3%
 Tipo de conexión CA: Monofásico

3.5 Cálculo y simulación del sistema del PV base de datos Meteonorm 8.1

3.5.1 Cálculo de los requerimientos base de datos Meteonorm 8.1

Determinación de las necesidades del usuario.

Estrato tipo C de consumo EEQ (kWh/mes): $Econ_mes = 250kWh/mes$

Numero Usuarios: $N = 4$

Energía (kWh/d):

$$E = \frac{Econ_mes}{30}$$

donde $E = 8,33 kWh/d$

Energía consumida en el día:

$$Econs = N * E$$

donde: $Econs = 33.32 kWh/d$

Voltaje nominal del sistema fotovoltaico: $VsistDC = 360 V$

Carga consumida en el día:

$$Q_{cons} = \frac{E_{cons}}{V_{sistDC}} = 92.55 \text{ Ah/d}$$

Determinación de las pérdidas del sistema:

$$K_v = 8\% \quad K_c = 10\%$$

$$K_T = (1 - (K_c + K_v)) \quad K_T = 0.82$$

Carga energética máxima del sistema:

$$C_{max} = \frac{Q_{cons}}{K_T} = 112,87 \text{ Ah/d}$$

Determinación de la energía solar disponible: $HPS = 4,96$ BDD Meteororm 8.1

$$P_{ppanel} = 375 \text{ W} \quad n_{panel} = 0.90 \quad V_{nom_panel} = 48 \text{ V}$$

$$E_{panel} = HPS * P_{ppanel} * n_{panel}$$

$$E_{panel} = 1.67 \text{ kWh/d}$$

$$Q_{panel} = \frac{E_{panel}}{V_{nom_panel}} = 34,87 \text{ Ah/d}$$

Determinación del número de paneles:

$$N_{ramas_paralelo} = \frac{C_{max}}{Q_{panel}} = 1,56$$

$$N_{modulos_serie} = \frac{V_{sistDC}}{V_{nom_panel}} = 15$$

donde

$$Paneles \text{ Totales} = N_{ramas_paralelo} * N_{modulos_serie} = 23,43$$

Total, Paneles requeridos BDD Meteororm 8.1: 24 Módulos

3.5.2 Simulación de la planta FV con Base de datos Meteororm en PVSyst

Meteororm es una base de datos meteorológica ampliamente utilizada en el diseño y simulación de sistemas fotovoltaicos. Esta base de datos contiene información detallada y precisa sobre irradiación solar, temperatura, humedad, viento y otros parámetros climáticos. En PVSyst, Meteororm es una de las principales fuentes para obtener datos climatológicos de cualquier ubicación geográfica, lo que permite simular con precisión la producción de energía de sistemas solares.

Tabla 2: Datos de Irradiación diario en KWh/m²/día BDD Meteororm 8.1

	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	June	July	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	Year	
Horizontal global	5.75	4.96	5.29	5.31	5.55	5.67	5.85	6.14	5.64	5.07	4.93	5.33	5.46	kWh/m ² /day
Horizontal diffuse	2.06	2.62	2.68	2.36	2.00	1.91	1.93	2.27	2.33	2.41	2.38	2.02	2.25	kWh/m ² /day
Extraterrestrial	10.11	10.44	10.52	10.19	9.63	9.26	9.37	9.86	10.32	10.41	10.17	9.95	10.02	kWh/m ² /day
Clearness Index	0.569	0.475	0.503	0.522	0.576	0.612	0.625	0.623	0.547	0.487	0.485	0.536	0.546	ratio
Ambient Temper.	14.3	14.2	14.2	13.9	14.2	13.9	14.0	14.3	14.2	14.3	13.9	14.1	14.1	°C
Wind Velocity	2.4	2.3	2.1	1.9	2.2	2.7	3.0	3.2	3.0	2.3	2.1	2.2	2.4	m/s

Fuente: Software PVSyst

En esta ventana de resultados podemos apreciar un sin número de resultados obtenidos de la simulación en el software PVSyst con base de datos Meteororm 8.1. Podemos observar el número de módulos de paneles fotovoltaicos totales que nos dan la simulación de 24 unidades, los módulos están ubicados 2 en cadena y 12 en serie y los valores de voltaje y corriente.

PV Array Characteristics			
PV module		Battery	
Manufacturer	Amerisolar	Manufacturer	Generic
Model	AS6M-375	Model	Open 12V / 100 Ah
(Original PVSyst database)		Technology	Lead-acid, vented, plates
Unit Nom. Power	375 Wp	Nb. of units	30 in series
Number of PV modules	24 units	Discharging min. SOC	20.0 %
Nominal (STC)	9.00 kWp	Stored energy	28.8 kWh
Modules	2 string x 12 in series	Battery Pack Characteristics	
At operating cond. (50°C)		Voltage	360 V
Pmpp	8.17 kWp	Nominal Capacity	100 Ah (C10)
U mpp	433 V	Temperature	Fixed 20 °C
I mpp	19 A	Battery Management control	
Controller		Threshold commands as	SOC calculation
Universal controller		Charging	SOC = 0.92 / 0.75
Technology	MPPT converter	approx.	411.2 / 371.6 V
Temp coeff.	-5.0 mV/°C/Elem.	Discharging	SOC = 0.20 / 0.45
Converter		approx.	348.3 / 362.0 V
Maxi and EURO efficiencies	97.0 / 95.0 %		
Total PV power			
Nominal (STC)	9 kWp		
Total	24 modules		
Module area	47.3 m ²		
Cell area	43.1 m ²		

Figura 15: Resultados de la simulación BDD Meteororm 8.1

Fuente: Software PVSyst

3.5.3 Presupuesto referencial con base datos Meteonorm 8.1

Tabla 3: Presupuesto referencial con base datos Meteonorm 8.1

PRESUPUESTO ESTIMATIVO DE EQUIPOS Y MATERIALES			
BASE DE DATOS:		METEONORM 8.1	
NOMBRE PROYECTO:		PLANTA FOTOVOLTAICA DE 10 KVA	
PROYECTO No.:		PDU-1714113212	
CONDUCTORES AISLADOS Y ACCESORIOS			
CANT	VALOR_UNIT	VALOR_TOTAL	ESPECIFICACION
300	0,40	120,00	CONDUCTOR FLEXIBLE DE CU. N. 12 AWG
20	2,80	56,00	CONDUCTOR DE CU. TRIPLEX 3X4 AWG
180	5,50	990,00	CONDUCTOR DE COBRE AISLADO PVC, 2000 V. TTU No. 1/0 AWG, 7 HILOS
		1.166,00	
ACCESORIOS PARA CONDUCTORES			
CANT	VALOR_UNIT	VALOR_TOTAL	ESPECIFICACION
6	5,77	34,62	CONECTOR R/P ALEAC CU, No. 8 - 1/0 AWG, AJUSTE MECANICO, SILICONADO
25	0,25	6,25	TERMINALES DE COPRESION PARA CABLE DE CU N. 12
		40,87	
SISTEMA PUESTA A TIERRA			
CANT	VALOR_UNIT	VALOR_TOTAL	ESPECIFICACION
1	450,00	450,00	Sistema puesto a tierra
		450,00	
ESTRUCTURAS			
CANT	VALOR_UNIT	VALOR_TOTAL	ESPECIFICACION
200	12,00	2.400,00	Estructura de aluminio anodizado 6005 T5 Acero inoxidable 304
120	5,50	660,00	Kit de abrazaderas de sujecion
		3.060,00	
EQUIPOS Y MICELANEOS			
CANT	VALOR_UNIT	VALOR_TOTAL	ESPECIFICACION
1	5.560,00	5.560,00	INVERSOR DE RED GROWATT MIN 10000TL-X BIFASICO 10KVA
24	196,00	4.704,00	Panel solar Longi 375W LR4-60HPH 375/MR
1	280,00	280,00	Tablero de transferencia de 80A-100A
1	1.200,00	1.200,00	Kit de protecciones para TDP
		11.744,00	

MATERIALES	16.460,87
MANO DE OBRA	6.584,35
TRANSPORTE	3.292,17
COSTOS INDIRECTOS	1.646,09
SUBTOTAL	27.983,48
IVA 15%	4.197,52
COSTO TOTAL DEL PROYECTO	32.181,00

Fuente: Elaboración propia.

3.6 Cálculo y simulación del sistema del PV base de datos NASA

3.6.1 Cálculo con base de datos, NASA

Determinación de las necesidades del usuario.

Estrato tipo C de consumo EEQ (kWh/mes): $E_{con_mes} = 250 \text{ kWh/mes}$

Numero Usuarios: $N = 4$

Energía (kWh/d):

$$E = \frac{E_{con_mes}}{30}$$

donde $E = 8,33 \text{ kWh/d}$

Energía consumida en el día:

$$E_{cons} = N * E$$

donde: $E_{cons} = 33.32 \text{ kWh/d}$

Voltaje nominal del sistema fotovoltaico: $V_{sistDC} = 360 \text{ V}$

Carga consumida en el día:

$$Q_{cons} = \frac{E_{cons}}{V_{sistDC}} = 92.55 \text{ Ah/d}$$

Determinación de las pérdidas del sistema:

$$K_v = 15\% \quad K_c = 16\%$$

$$K_T = (1 - (K_c + K_v)) \quad K_T = 0.69$$

Carga energética máxima del sistema:

$$C_{max} = \frac{Q_{cons}}{K_T} = 134,13 \text{ Ah/d}$$

Determinación de la energía solar disponible: $HPS = 4,96$ BDD NASA

$$P_{ppanel} = 375 \text{ W} \quad n_{panel} = 0.85 \quad V_{nom_{panel}} = 48 \text{ V}$$

$$E_{panel} = HPS * P_{ppanel} * n_{panel} \quad E_{panel} = 1.26 \text{ kWh/d}$$

$$Q_{panel} = \frac{E_{panel}}{V_{nom_{panel}}} = 26,43 \text{ Ah/d}$$

Determinación del número de paneles:

$$N_{ramas_{paralelo}} = \frac{C_{max}}{Q_{panel}} = 5,07$$

$$N_{modulos_{serie}} = \frac{V_{sistDC}}{V_{nom_{panel}}} = 7,5$$

donde

$$Paneles \ Totales = N_{ramas_{paralelo}} * N_{modulos_{serie}} = 38,06$$

Total, Paneles requeridos BDD NASA: 38 Módulos

3.6.2 Simulación de la planta FV con Base de Datos NASA en PVSyst

La base de datos NASA en PVsyst proporciona información meteorológica y de irradiación solar basada en satélites para todo el mundo. Es utilizada en el diseño y simulación de sistemas fotovoltaicos, especialmente en zonas donde no existen estaciones meteorológicas cercanas. En síntesis, la base de datos NASA en PVsyst es fundamental para calcular la energía solar disponible y el rendimiento de plantas fotovoltaicas, prácticamente en cualquier ubicación, proporcionando alta precisión y fiabilidad en zonas rurales o sin datos meteorológicos locales.

Tabla 4: Datos de Irradiación diario en kWh/m²/día BDD NASA

	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	June	July	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	Year	
Horizontal global	4.14	4.35	4.55	4.33	4.12	4.02	4.27	4.46	4.27	4.24	4.30	3.98	4.25	kWh/m ² /day
Horizontal diffuse	2.16	2.27	2.34	2.22	2.05	1.94	1.98	2.12	2.28	2.26	2.18	2.11	2.16	kWh/m ² /day
Extraterrestrial	10.11	10.44	10.52	10.19	9.63	9.26	9.37	9.86	10.32	10.41	10.17	9.95	10.02	kWh/m ² /day
Clearness Index	0.410	0.417	0.432	0.425	0.428	0.434	0.456	0.452	0.414	0.407	0.423	0.400	0.425	ratio
Ambient Temper.	17.5	17.6	18.0	17.9	17.8	17.3	17.5	18.6	19.3	19.3	18.3	17.6	18.0	°C

Fuente: Software PVSyst

En esta ventana de resultados podemos apreciar los resultados obtenidos de la simulación en el software PVSyst con base de datos NASA. Podemos observar el número de módulos de paneles fotovoltaicos totales que nos dan la simulación de 38 unidades, los módulos están ubicados una en cadena y 38 en serie y los valores de voltaje y corriente.

PV Array Characteristics			
PV module		Battery	
Manufacturer	Amerisolar	Manufacturer	Generic
Model	AS6M-375	Model	Open 12V / 100 Ah
(Original PVSyst database)		Technology	Lead-acid, vented, plates
Unit Nom. Power	375 Wp	Nb. of units	2 in parallel x 22 in series
Number of PV modules	38 units	Discharging min. SOC	20.0 %
Nominal (STC)	14.25 kWp	Stored energy	42.2 kWh
Modules	1 strings x 38 In series	Battery Pack Characteristics	
At operating cond. (50°C)		Voltage	264 V
Pmpp	12.94 kWp	Nominal Capacity	200 Ah (C10)
U mpp	1371 V	Temperature	Fixed 20 °C
I mpp	9.4 A	Battery Management control	
Controller		Threshold commands as	SOC calculation
Universal controller		Charging	SOC = 0.92 / 0.75
Technology	MPPT converter	approx.	302.1 / 272.5 V
Temp coeff.	-5.0 mV/°C/Elem.	Discharging	SOC = 0.20 / 0.45
Converter		approx.	255.8 / 265.5 V
Maxi and EURO efficiencies	97.0 / 95.0 %		
Total PV power			
Nominal (STC)	14 kWp		
Total	38 modules		
Module area	74.9 m ²		
Cell area	68.3 m ²		

Figura 16: Resultados de la simulación BDD NASA

Fuente: Software PVSyst

3.6.3 Presupuesto referencial con base datos NASA

Tabla 5: Presupuesto referencial con base datos NASA

PRESUPUESTO ESTIMATIVO DE EQUIPOS Y MATERIALES			
BASE DE DATOS:		NASA	
NOMBRE PROYECTO:		PLANTA FOTOVOLTAICA DE 10 KVA	
PROYECTO No.:		PDU-1714113212	
TIPO DE INSTALACION:		AEREA/SUBTERRANEA	
CONDUCTORES			
CANT	VALOR_UNIT	VALOR_TOTAL	ESPECIFICACION
400	0,40	160,00	CONDUCTOR FLEXIBLE DE CU. N. 12 AWG
20	2,80	56,00	CONDUCTOR DE CU. TRIPLEX 3X4 AWG
180	5,50	990,00	CONDUCTOR DE COBRE AISLADO PVC, 2000 V. TTU No. 1/0 AWG, 7 HILOS
		1.206,00	
ACCESORIOS PARA CONDUCTORES			
CANT	VALOR_UNIT	VALOR_TOTAL	ESPECIFICACION
10	5,77	57,70	CONECTOR R/P ALEAC CU, No. 8 - 1/0 AWG, AJUSTE MECANICO, SILICONADO
40	0,25	10,00	TERMINALES DE COPRESION PARA CABLE DE CU N. 12
		67,70	
SISTEMA PUESTA A TIERRA			
CANT	VALOR_UNIT	VALOR_TOTAL	ESPECIFICACION
1	450,00	450,00	Sistema puesto a tierra
		450,00	
ESTRUCTURAS			
CANT	VALOR_UNIT	VALOR_TOTAL	ESPECIFICACION
280	12,00	3.360,00	Estructura de aluminio anodizado 6005 T5 Acero inoxidable 304
160	5,50	880,00	Kit de abrazaderas de sujecion
		4.240,00	
EQUIPOS Y MICELANEOS			
CANT	VALOR_UNIT	VALOR_TOTAL	ESPECIFICACION
1	5.560,00	5.560,00	INVERSOR DE RED GROWATT MIN 10000TL-X BIFASICO 10KVA
38	196,00	7.448,00	Panel solar Longi 375W LR4-60HPH 375/MR
1	280,00	280,00	Tablero de transferencia de 80A-100A
1	1.200,00	1.200,00	Kit de protecciones para TDP

	14.488,00	
MATERIALES		20.451,70
MANO DE OBRA		8.180,68
TRANSPORTE		4.090,34
COSTOS INDIRECTOS		2.045,17
SUBTOTAL		34.767,89
IVA 15%		5.215,18
COSTO TOTAL DEL PROYECTO		39.983,07

Fuente: Elaboración propia.

3.7 Cálculo y simulación del sistema del PV base de datos PVGIS

3.7.1 Cálculo con base de datos, PVGIS

Determinación de las necesidades del usuario.

Estrato tipo C de consumo EEQ (kWh/mes): $E_{con_mes} = 250 \text{ kWh/mes}$

Numero Usuarios: $N = 4$

Energía (kWh/d):

$$E = \frac{E_{con_mes}}{30}$$

$$\text{donde } E = 8,33 \text{ kWh/d}$$

Energía consumida en el día:

$$E_{cons} = N * E$$

$$\text{donde: } E_{cons} = 33,32 \text{ kWh/d}$$

Voltaje nominal del sistema fotovoltaico: $V_{sistDC} = 360 \text{ V}$

Carga consumida en el día:

$$Q_{cons} = \frac{E_{cons}}{V_{sistDC}} = 92,55 \text{ Ah/d}$$

Determinación de las pérdidas del sistema:

$$K_v = 5\% \quad K_c = 10\%$$

$$K_T = (1 - (K_c + K_v)) \text{ donde } K_T = 0,85$$

Carga energética máxima del sistema:

$$C_{max} = \frac{Q_{cons}}{K_T} = 108,88 \text{ Ah/d}$$

Determinación de la energía solar disponible: $HPS = 4,46$ BDD PVGIS

$$P_{ppanel} = 375 \text{ W} \quad n_{panel} = 0.9 \quad V_{nom_{panel}} = 48 \text{ V}$$

$$E_{panel} = HPS * P_{ppanel} * n_{panel} \quad E_{panel} = 1.50 \text{ kWh/d}$$

$$Q_{panel} = \frac{E_{panel}}{V_{nom_{panel}}} = 31,35 \text{ Ah/d}$$

Determinación del número de paneles:

$$N_{ramas_{paralelo}} = \frac{C_{max}}{Q_{panel}} = 3,47$$

$$N_{modulos_{serie}} = \frac{V_{sistDC}}{V_{nom_{panel}}} = 7,5$$

donde

$$Paneles \text{ Totales} = N_{ramas_{paralelo}} * N_{modulos_{serie}} = 26,04$$

Total, Paneles requeridos BDD PVGIS: 26 Módulos

3.7.2 Simulación de la planta FV con Base de Datos PVGIS en PVSyst

La base de datos PVGIS (Photovoltaic Geographical Information System) es una de las principales fuentes de datos utilizados en PVSyst para el diseño y simulación de sistemas fotovoltaicos. Está desarrollada por la Comisión Europea y proporciona datos detallados sobre irradiación solar y otros parámetros meteorológicos específicos para Europa, África, y partes de Asia. EL PVGIS de PVSyst es una herramienta valiosa para diseñar y optimizar sistemas fotovoltaicos, especialmente en la zona de Europa y África, gracias a su precisión y amplia cobertura de datos de irradiación solar y condiciones meteorológicas.

Tabla 6: Datos de Irradiación diario en KWh/m²/día BDD PVGIS

	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	June	July	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	Year	
Horizontal global	5.74	6.03	4.95	4.76	5.16	4.78	5.40	5.38	5.16	5.45	4.46	4.87	5.17	kWh/m ² /day
Horizontal diffuse	1.93	2.39	2.65	2.89	2.54	2.13	1.83	2.28	2.46	2.28	2.52	2.38	2.36	kWh/m ² /day
Extraterrestrial	10.11	10.44	10.52	10.19	9.63	9.26	9.37	9.86	10.32	10.41	10.17	9.95	10.02	kWh/m ² /day
Clearness Index	0.568	0.577	0.471	0.467	0.535	0.516	0.576	0.545	0.500	0.524	0.439	0.489	0.517	ratio
Ambient Temper.	14.9	13.9	14.4	14.8	14.3	14.1	13.9	13.9	14.1	14.7	13.4	13.8	14.2	°C
Wind Velocity	0.9	1.0	0.8	0.9	1.0	1.1	1.3	1.1	1.0	0.9	0.8	0.9	1.0	m/s

Fuente: Software PVSyst

En esta ventana de resultados podemos apreciar los resultados obtenidos de la simulación en el software PVSyst con base de datos PVGIS. Podemos observar el número de módulos de paneles fotovoltaicos totales que nos dan la simulación de 26 unidades, los módulos están ubicados una en cadena y 26 en serie y los valores de voltaje y corriente.

PV Array Characteristics			
PV module		Battery	
Manufacturer	Amerisolar	Manufacturer	Generic
Model	AS6M-375	Model	Open 12V / 100 Ah
(Original PVSyst database)		Technology	Lead-acid, vented, plates
Unit Nom. Power	375 Wp	Nb. of units	2 in parallel x 30 in series
Number of PV modules	26 units	Discharging min. SOC	10.0 %
Nominal (STC)	9.75 kWp	Stored energy	64.8 kWh
Modules	1 strings x 26 In series	Battery Pack Characteristics	
At operating cond. (50°C)		Voltage	360 V
Pmpp	8.85 kWp	Nominal Capacity	200 Ah (C10)
U mpp	938 V	Temperature	Fixed 20 °C
I mpp	9.4 A	Battery Management control	
Controller		Threshold commands as	SOC calculation
Universal controller		Charging	SOC = 0.96 / 0.80
Technology	MPPT converter	approx.	445.8 / 373.2 V
Temp coeff.	-5.0 mV/°C/Elem.	Discharging	SOC = 0.10 / 0.35
Converter		approx.	333.9 / 358.8 V
Maxi and EURO efficiencies	97.0 / 95.0 %		
Total PV power			
Nominal (STC)	10 kWp		
Total	26 modules		
Module area	51.2 m ²		
Cell area	46.7 m ²		

Figura 17: Ventana de resultados de la simulación BDD PVGIS

Fuente: Software PVSyst

3.7.3 Presupuesto referencial con base datos PVGIS

Tabla 7: Presupuesto referencial con base datos PVGIS

PRESUPUESTO ESTIMATIVO DE EQUIPOS Y MATERIALES			
BASE DE DATOS:		PVGIS	
NOMBRE PROYECTO:		PLANTA FOTOVOLTAICA DE 10 KVA	
PROYECTO No.:		PDU-1714113212	
TIPO DE INSTALACION:		AEREA/SUBTERRANEA	
CONDUCTORES AISLADOS Y ACCESORIOS			
CANT	VALOR_UNIT	VALOR_TOTAL	ESPECIFICACION
320	0,40	128,00	CONDUCTOR FLEXIBLE DE CU. N. 12 AWG
20	2,80	56,00	CONDUCTOR DE CU. TRIPLEX 3X4 AWG
180	5,50	990,00	CONDUCTOR DE COBRE AISLADO PVC, 2000 V. TTU No. 1/0 AWG, 7 HILOS
		1.174,00	
ACCESORIOS PARA CONDUCTORES			
CANT	VALOR_UNIT	VALOR_TOTAL	ESPECIFICACION
10	5,77	57,70	CONECTOR R/P ALEAC CU, No. 8 - 1/0 AWG, AJUSTE MECANICO, SILICONADO
30	0,25	7,50	TERMINALES DE COPRESION PARA CABLE DE CU N. 12
		65,20	
SISTEMA PUESTA A TIERRA			
CANT	VALOR_UNIT	VALOR_TOTAL	ESPECIFICACION
1	450,00	450,00	Sistema puesto a tierra
		450,00	
ESTRUCTURAS			
CANT	VALOR_UNIT	VALOR_TOTAL	ESPECIFICACION
220	12,00	2.640,00	Estructura de aluminio anodizado 6005 T5 Acero inoxidable 304
130	5,50	715,00	Kit de abrazaderas de sujeción
		3.355,00	
EQUIPOS Y MICELANEOS			
CANT	VALOR_UNIT	VALOR_TOTAL	ESPECIFICACION
1	5.560,00	5.560,00	INVERSOR DE RED GROWATT MIN 10000TL-X BIFASICO 10KVA
28	196,00	5.488,00	Panel solar Longi 375W LR4-60HPH 375/MR
1	280,00	280,00	Tablero de transferencia de 80A-100A
1	1.200,00	1.200,00	Kit de protecciones para TDP

	12.528,00	
MATERIALES		17.572,20
MANO DE OBRA		7.028,88
TRANSPORTE		3.514,44
COSTOS INDIRECTOS		1.757,22
SUBTOTAL		29.872,74
IVA 15%		4.480,91
COSTO TOTAL DEL PROYECTO		34.353,65

Fuente: Elaboración propia.

3.8 Cálculo y dimensionamiento de los conductores del sistema

3.8.1 Dimensionamiento de los conductores para el tramo1:

Para las conexiones entre el Sistema Fotovoltaico-Inversor se obtiene el siguiente conductor de acuerdo al cálculo de caída de tensión

Longitud del cable tramo1: $LT1 = 20 \text{ m}$

Conductividad del cable (cobre): $K = 45,49 \text{ (m}/\Omega \cdot \text{mm}^2)$

Intensidad corto circuito del panel: $I_{sc_panel} = 9,02 \text{ A}$

Caída de voltaje: $\Delta V (\%) = 1\%$

Voltaje del tramo1: $VT1 \text{ (VDC)} = 360 \text{ V}$

Porcentaje de Caída de voltaje: $\Delta U (\%) = 3,6\%$

Intensidad del tramo1:

$$IT1 = 1.25 * I_{SC_{panel}} * 6$$

$$\text{donde } IT1 = 67,65 \text{ A}$$

Cálculo del conductor del Tramo1:

$$ST1(\text{mm}^2) = \frac{2 * LT1 * IT1}{K * \Delta U}$$

donde

$$ST1 (\text{mm}^2) = 16,52$$

Conductor a utilizar Tramo1 = #4 Cu. a 7 Hilos AWG

3.8.2 Dimensionamiento de los conductores para el tramo2:

Para las conexiones del tramo2 entre el Inversor-red eléctrica se obtiene el siguiente conductor de acuerdo al cálculo de caída de tensión.

Longitud del cable tramo2: $LT2 = 60 \text{ m}$

Conductividad del cable (cobre): $K = 45,49 \text{ (m}/\Omega \cdot \text{mm}^2)$

Caída de voltaje: $\Delta V (\%) = 1\%$

Voltaje del tramo2: $VT2 \text{ (VCA)} = 240 \text{ V}$

Porcentaje de Caída de voltaje: $\Delta U (\%) = 2,4\%$

Factor potencia: $Fp = 0,95$

Rendimiento inversor: $Rinv = 0,90$

Potencia del inversor: $P(KVA)=10 \text{ KVA}$

Potencia del inversor en Watts:

$$P_{inv}(W) = \frac{P(KVA) * Fp}{Rinv}$$

$$\text{donde } P_{inv}(W) = 10.555,56 \text{ W}$$

Intensidad del tramo:

$$IT2 = 1.25 * ISC_{panel} * 6$$

$$\text{donde } IT2 = 43,98 \text{ A}$$

Conductor a utilizar Tramo2:

$$ST2(\text{mm}^2) = \frac{E2 * LT2 * IT2}{K * \Delta U}$$

$$\text{Donde } ST2 (\text{mm}^2) = 48,34 \text{ A}$$

Conductor a utilizar Tramo2 = #1/0 Cu. a 19 Hilos AWG

3.9 Calculo y dimensionamiento de las protecciones del sistema

3.9.1 Dimensionamiento de las protecciones en el Tramo1

Sistema Fotovoltaico-Inversor:

Voltaje del tramo1: $VTP1 \text{ (VDC)} = 360 \text{ V}$

Intensidad corto circuito del panel: $Isc_{panel} = 9,02 \text{ A}$

Intensidad del tramo1:

$$ITP1 = 1.25 * ISC_{panel} * 6$$

donde $ITP1 = 81,18 A$

Protección a utilizar es el interruptor termomagnético de 80 A



Figura 18: Interruptor termomagnético EasyPact EZC 3P 80A TMD

Fuente: EZC100N3080 - Interruptor termomagnético EasyPact EZC 3P 80A TMD | Schneider

3.9.2 Dimensionamiento de las protecciones del Tramo2

Desde el Inversor-red eléctrica:

Factor potencia: $Fp = 0,95$

Rendimiento inversor: $Rinv = 0,90$

Voltaje: $VTP2 (VAC) = 240 V$

Potencia del inversor: $P(KVA)=10 KVA$

Potencia del inversor en Watts:

$$P_{inv}(W) = \frac{P(KVA) * Fp}{Rinv}$$

donde $P_{inv}(W) = 10.555,56 W$

Intensidad del tramo:

$$ITP2 = \frac{1,5 * P(W)}{VTP2}$$

donde $ITP2 = 65,97 A$

Protección a utilizar es el termomagnético de 65 A



Figura 19: Interruptor Automático ComPacT NSX100F TMD100 Regulable 70-100 A 3P3D

Fuente: EZC100N3080 - Interruptor termomagnético EasyPact EZC 3P 70A TMD | Schneider

Para las conexiones se utilizará el conector macho-hembra de 30 A y 1000 V para cable solar IP67 de LEMON ya que es ideal para conectar paneles solares fotovoltaicos e inversores de manera segura y confiable. Está diseñado para soportar hasta 30 A y 1000 V de corriente continua, con un mecanismo de bloqueo por presión que asegura una conexión sólida. Clasificado con protección IP67, es resistente al agua y al polvo, lo que lo hace perfecto para exteriores. Fabricado con materiales duraderos, es resistente a condiciones extremas, rayos UV y humedad. Su diseño compacto facilita la instalación y el mantenimiento. Además, incluye protección contra descargas accidentales y tensión en los cables para mayor seguridad y durabilidad.



Figura 20: Conector macho hembra, cable solar IP67, conectores de panel solar

Fuente: Conector a prueba de agua, Conector solar al por mayor, Cable solar, Arnés

3.10 Cuadro de resumen de resultados de las bases de datos Meteonorm 8.1, NASA y PVGIS.

Tabla 8: Tabla de resultados de las 3 Bases de Datos

Tabla de resultados del PVSyst							
Ítem	Base de Datos	Irradiación	N. Paneles	Pmpp (W)	Ump (V)	Imp (A)	Costo (\$)
1	Meteonorm 8,1	4,96	24	8,17	433	19	32.181,00
2	Nasa	3,98	38	12,94	1371	9,4	39.983,07
3	PVGIS	4,46	26	8,85	938	9,4	34.353,65

Fuente: Software PVSyst

En este cuadro podemos observar los datos obtenidos de las 3 simulaciones con sus bases de datos respectivos en la cual podemos comparar los datos de irradiación, el número de paneles, La potencia pico del sistema, el voltaje pico del sistema, la corriente pico que produce el sistema, y el presupuesto total de la implantación con cada base de Datos de esto podemos analizar desde diferentes puntos de vista y tomar la decisión adecuada de acuerdo a los requerimientos del sistema.

Tomando en cuenta el presupuesto nos sale recomendable la implementación con la base de datos Meteonorm 8.1 que es la más baja en comparación con otras bases de datos.

3.11 Conclusiones

Desde el punto de vista de la viabilidad económica del Proyecto, la planta fotovoltaica de 10 kVA se ha demostrado ser viable con la base de datos Meteonorm 8.1, considerando las condiciones técnicas y climáticas específicas del sector de Píntag. La comparación de diferentes bases de datos meteorológicas (Meteonorm 8.1, NASA y PVGIS) permitió seleccionar la más adecuada decisión para el dimensionamiento del sistema, asegurando una inyección de energía confiable a la microred eléctrica.

Desde el punto de vista del impacto en la comunidad, la implementación de esta planta fotovoltaica no solo proporcionará una fuente de energía limpia y renovable, sino que también contribuirá al desarrollo económico y social de la comunidad de Píntag, mejorando la calidad de vida de sus habitantes y reduciendo la dependencia de combustibles fósiles.

En la sostenibilidad energética, este proyecto representa un paso significativo hacia la sostenibilidad energética en zonas rurales, al promover el uso de energías renovables y la diversificación de fuentes de energía, lo que es crucial para el desarrollo sostenible de la región.

La planta fotovoltaica diseñada puede servir como un modelo replicable para futuras instalaciones en áreas rurales similares, promoviendo un crecimiento energético autosuficiente y ambientalmente comprometido.

3.12 Recomendaciones:

En la implementación gradual, se recomienda llevar a cabo la ejecución de la planta fotovoltaica de manera gradual, comenzando con una fase piloto que permita evaluar el rendimiento del sistema y realizar ajustes necesarios antes de una implementación a gran escala.

Es fundamental establecer un sistema de monitoreo continuo para evaluar el rendimiento de la planta y asegurar su correcto funcionamiento. Además, se debe planificar un programa de mantenimiento regular para maximizar la eficiencia del sistema.

Para la capacitación de la comunidad, se sugiere desarrollar programas de capacitación para los habitantes de Píntag sobre el uso y mantenimiento de la tecnología fotovoltaica, fomentando así la apropiación del proyecto por parte de la comunidad y asegurando su sostenibilidad a largo plazo.

Para estar actualizados en este tipo de proyectos, se recomienda realizar investigaciones adicionales sobre la integración de otras fuentes de energía renovable, como la energía eólica, para complementar el sistema fotovoltaico y aumentar la capacidad energética de la microred.

También se puede hacer participar a las diferentes entidades, para fomentar la colaboración con instituciones académicas y organizaciones no gubernamentales para obtener apoyo técnico y financiero en la implementación y expansión del proyecto, así como en la investigación de nuevas tecnologías futuras.

3.13 Proyectos futuros de investigación

Con el estudio y diseño de esta planta fotovoltaica de 10 kVA en el sector rural de Píntag, se pueden proponer varios proyectos futuros de investigación, tales como:

1. **Evaluación de Impacto Social y Económico:** Realizar un estudio longitudinal que analice el impacto social y económico de la implementación de la planta fotovoltaica en la comunidad de Píntag, incluyendo mejoras en la calidad de vida, acceso a servicios básicos y desarrollo económico local.
2. **Comparación de Tecnologías Fotovoltaicas:** Investigar y comparar diferentes tecnologías de paneles solares (como paneles monocristalinos vs. policristalinos) en términos de eficiencia, costo y adaptabilidad a las condiciones climáticas específicas de la región.
3. **Integración de Almacenamiento de Energía:** Desarrollar un proyecto que explore la viabilidad de integrar sistemas de almacenamiento de energía (baterías) con la planta fotovoltaica para mejorar la estabilidad y confiabilidad del suministro eléctrico en la microred.
4. **Análisis de Datos Meteorológicos:** Realizar un estudio más profundo sobre la variabilidad y precisión de diferentes bases de datos meteorológicas, evaluando su impacto en el rendimiento de sistemas fotovoltaicos en diversas regiones de Ecuador.
5. **Modelos de Replicabilidad:** Diseñar un modelo replicable para la implementación de plantas fotovoltaicas en otras comunidades rurales de Ecuador, considerando factores como el tamaño de la comunidad, la demanda energética y las condiciones climáticas.
6. **Investigación sobre Energías Híbridas:** Explorar la posibilidad de combinar la energía solar con otras fuentes renovables, como la eólica o la biomasa, para crear un sistema híbrido que maximice la eficiencia energética y reduzca la dependencia de combustibles fósiles.
7. **Educación y Capacitación:** Desarrollar programas de capacitación para la comunidad sobre el uso y mantenimiento de sistemas fotovoltaicos, promoviendo la sostenibilidad y el empoderamiento local en la gestión de recursos energéticos.

Estos proyectos no solo contribuirían al avance del conocimiento en el área de energías renovables, sino que también podrían tener un impacto positivo en el desarrollo sostenible de comunidades rurales en Ecuador 12, 13.

3.14 Referencias

- Anón. 2009. Sistemas fotovoltaicos. Zaragoza: Prensas Universitarias de Zaragoza.
- Anón. s. f.-a. «IEA_PVPS_Task12_Methodological_Guidelines_NEA_2021_report».
- Anón. s. f.-b. «libro_de_Energia-Solar-Fotovoltaica-Carlos-Orbegozo-Roberto-Arivilca-libre.pdf».
- Anón. s. f.-c. «PDF».
- Anón. s. f.-d. «Practical_photovoltaics».
- Bonilla-Gámez, Natalia. 2017. «Propuesta de diseño de una microred en la comunidad de Santa Elena, Pérez Zeledón, basada en Whites Lane Smart Micro Grid». Revista Tecnología en Marcha 30(5):55. doi: 10.18845/tm.v30i5.3224.
- Branker, K., M. J. M. Pathak, y J. M. Pearce. 2011. «A Review of Solar Photovoltaic Levelized Cost of Electricity». Renewable and Sustainable Energy Reviews 15(9):4470-82. doi: 10.1016/j.rser.2011.07.104.
- Cámara, Erika H. Rubio, Luis C. Ordoñez López, y Luis J. Ricalde Castellanos. s. f. «DISEÑO DE UNA MICRO RED ELÉCTRICA INTELIGENTE CON SISTEMA FOTOVOLTAICO Y CELDA DE COMBUSTIBLE». (120).
- Castro, Carlos García. s. f. «SIMULACIÓN DE INSTALACIONES FOTOVOLTAICAS CON PVSYST».
- Figueroa Cruz, Myriam, Luis Moreno Rubiños, Wilfredo Valdivia Rojas, y Wilson Camacho Mamani. 2022. «Viabilidad de Proyectos de Electrificación Fotovoltaica con Minirredes en la Zona Rural de la Región Áncash». Aporte Santiaguino. doi: 10.32911/as.2022.v15.n2.948.
- González, Ernesto, Daniel Gualotuña, y Jaime Francisco Quinteros Flores. 2022. «Diseño de una Micro-Red óptima mediante el uso del recurso solar fotovoltaico en la Universidad Politécnica Salesiana – Campus Sur, utilizando el software HOMER PRO». I+D Tecnológico 18(2):109-23. doi: 10.33412/idt.v18.2.3647.
- Lamigueiro, Oscar Perpiñán. s. f. «Energía Solar Fotovoltaica».
- Panjón, L. A. 2010. «Implementación de Sistemas Fotovoltaicos en Zonas Rurales del Cantón Morona Santiago». Revista Técnica «Energía» 6(1). doi: 10.37116/revistaenergia.v6.n1.2010.233.
- Puig, Pep, y Marta Jofra. s. f. «2 Energía Solar Fotovoltaica».

- Rodríguez Gámez, María, Antonio Vázquez Pérez, Alcira Magdalena Velez Quiroz, y Wilber Manuel Saltos Arauz. 2018. «Mejora de la calidad de la energía con sistemas fotovoltaicos en las zonas rurales». Revista científica 3(33):265-74. doi: 10.14483/23448350.13104.
- Sánchez, Guamán, Cristian Fernando, Vargas Salgado, y Carlos Afranio. s. f. «DISEÑO DE UNA MICRORRED BASADA EN RENOVABLES PARA SUMINISTRAR ELECTRICIDAD A UN ÁREA DE CONCESIÓN DE LA EMPRESA ELÉCTRICA REGIONAL CENTRO SUR».
- Villcas, Alvarado, Sonia María, Valdiviezo Calderon, Alexandra Yosely, Dr Quezada Alvarez, y Medardo Alberto. s.f. «TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE: INGENIERA AMBIENTAL».

3.15 Anexos

- Datos técnicos de los equipos y materiales (Datasheet)
- Informe de las simulaciones software PVSyst de las 3 bases de datos
- Planilla para la determinación de la demanda de energía
- Detalle de Presupuesto referencial de equipos, materiales y mano de obra
- Documentos del predio