

INSTITUTO SUPERIOR TECNOLÓGICO UNIVERSITARIO RUMIÑAHUI

**ESCUELA DE POSGRADOS
MAESTRÍA TECNOLÓGICA 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 un sistema fotovoltaico para las instalaciones de KG Constructora
utilizando diferentes bases de datos.**

Autor: Manuel Ramiro Gallardo Espín

Director: Luis Daniel Andagoya Alba

Fecha: Septiembre 2024

Sangolquí - Ecuador



Autor: Gallardo Espín Manuel Ramiro

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

Matriz: Sangolquí -Ecuador

Correo electrónico: manuel.gallardo@ister.edu.ec



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

(GALLARDO ESPÍN MANUEL RAMIRO)



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 UN SISTEMA FOTOVOLTAICO PARA LAS INSTALACIONES DE KGCONSTRUCTORA UTILIZANDO DIFERENTES BASES DE DATOS** realizado por **MANUEL RAMIRO GALLARDO ESPÍN** 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
22:46:51 -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, Manuel Ramiro Gallardo Espín, declaro y acepto en forma expresa lo siguiente: ser autor del trabajo de titulación denominado "**Estudio y Diseño de un Sistema Fotovoltaico para las Instalaciones de KGConstructora utilizando diferentes bases de datos**", de la Maestría Tecnológica **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,

Manuel Ramiro Gallardo Espín

CI: 0503363467

**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:

Manuel Ramiro Gallardo Espín

TUTOR:

Luis Daniel Andagoya Alba

CONTACTO ESTUDIANTE:

0983634210

CORREO ELECTRÓNICO:

manuel.gallardo@ister.edu.ec

ramir_18@hotmail.com

TEMA:

Estudio y Diseño de un Sistema Fotovoltaico para las Instalaciones de KGConstructora
utilizando diferentes bases de datos

RESUMEN EN ESPAÑOL:

En el presente trabajo de titulación se propone el diseño de un sistema fotovoltaico autónomo en las instalaciones eléctricas de KGConstructora a través de la modelación y simulación en el software especializado de PVsyst, con la finalidad de minimizar el consumo de energía eléctrica proveniente de la red. Para el diseño del sistema fotovoltaico se ha considerado el manejo de bases de datos especializadas, las mismas que contienen datos históricos, las cuales son: METEONORM, NASA, NREL, PVGIS A través del software PVsyst se realiza la simulación del modelo del sistema fotovoltaico con la finalidad de estimar el comportamiento energético, bajo las condiciones operativas de demanda de energía de la instalación eléctrica y de las condiciones de irradiación solar arrojadas por parte de cada una de las bases de datos meteorológicas consideradas. Cada una de las bases de datos serán consideradas como casos de estudio, de forma que a partir de su información histórica nos genere un comportamiento energético, cuyos resultados serán comparados. Los resultados obtenidos nos muestran que de acuerdo con la energía solar disponible y útil, cada una de las bases de datos tienen resultados diferentes, bajo el análisis desarrollado se definen a las bases NREL y PVGIS con información meteorológica de irradiación solar con un mejor rendimiento y potencial energético.

PALABRAS CLAVE: Pvsyst, sistema fotovoltaico, irradiación solar, panel solar

ABSTRACT:

In this thesis, the design of an autonomous photovoltaic system for the electrical installations of KGConstructora is proposed through modeling and simulation using the specialized software Pvsyst, with the aim of reducing the consumption of electricity from the grid. The design of the photovoltaic system considers specialized databases, which contain historical data, such as METEONORM, NASA, NREL, and PVGIS. Using Pvsyst software, a simulation of the photovoltaic system model is carried out to estimate the energy performance under the operational conditions of the electrical installation's energy demand and the solar irradiation conditions provided by each of the considered meteorological databases. Each of the databases will be treated as case studies, allowing their historical data to generate an energy performance, the results of which will be compared. The obtained results indicate that, based on the available and usable solar energy, each database yields different results. According to the developed analysis, the NREL and PVGIS databases provide solar irradiation information with better performance and energy potential.

KEYWORDS: Pvsyst, photovoltaic system, solar irradiation, solar panel



POSGRADOS
TECNOLÓGICOS



UNIVERSITARIO
RUMIÑAHUI

SOLICITUD DE PUBLICACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Sangolquí, 17 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 un Sistema Fotovoltaico para las Instalaciones de KGConstructora utilizando diferentes bases de datos** de la Unidad de Integración Curricular en el repositorio digital "DsPace" del estudiante: **Manuel Ramiro Gallardo Espín**, con documento de identificación No 0503363467, estudiante de la Maestría Tecnológica 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,

Manuel Ramiro Gallardo Espín
CI: 0503363467

Dedicatoria

A mis padres, quienes me enseñaron la importancia de la perseverancia y la curiosidad. Su amor por la naturaleza me llevó a explorar las energías renovables. A mi hermana, gracias por las innumerables discusiones sobre ciencia, construcción y tecnología que han enriquecido mi conocimiento. A mi esposa, mi compañera en este camino, gracias por tu paciencia y comprensión durante las largas horas de estudio. A mis hijos, quienes me recuerdan cada día la importancia de cuidar nuestro planeta. A la comunidad Universitaria Rumiñahui, especialmente a mis docentes Daniel, Gaby y Wilson, quienes me han enseñado a pensar críticamente y a buscar soluciones innovadoras. Gracias a todos por creer en mí y por motivarme a seguir adelante. Este trabajo es un pequeño aporte a la construcción de un futuro más sostenible, un futuro que beneficia a todos.

Agradecimiento

En primer lugar, quiero expresar un agradecimiento profundo a mi familia, cuyo amor y apoyo incondicional han sido fundamentales para la realización de este trabajo. Al Universitario Rumiñahui, por brindarme las herramientas necesarias para desarrollar esta investigación. Un agradecimiento especial a mi tutor, Ing. Daniel Andagoya, por su invaluable guía y conocimientos. Asimismo, agradezco a mi Padre Absalón, mi hermanita Katherine, mi esposa Mayra, mis Madres Lolita y Rosita por su colaboración para lograr este objetivo planteado desde hace 6 años cuando llegamos a esta institución en busca de una Tecnología Superior y ahora nos vamos con una Maestría Tecnológica. Este trabajo es el resultado de un esfuerzo conjunto y estoy profundamente agradecido con todos los que han contribuido a su realización.

Resumen

En el presente trabajo de titulación se propone el diseño de un sistema fotovoltaico autónomo en las instalaciones eléctricas de KGConstructora a través de la modelación y simulación en el software especializado de PVSyst, con la finalidad de minimizar el consumo de energía eléctrica proveniente de la red. Para el diseño del sistema fotovoltaico se ha considerado el manejo de bases de datos especializadas, las mismas que contienen datos históricos, las cuales son: METEONORM, NASA, NREL, PVGIS A través del software PVSyst se realiza la simulación del modelo del sistema fotovoltaico con la finalidad de estimar el comportamiento energético, bajo las condiciones operativas de demanda de energía de la instalación eléctrica y de las condiciones de irradiación solar arrojadas por parte de cada una de las bases de datos meteorológicas consideradas. Cada una de las bases de datos serán consideradas como casos de estudio, de forma que a partir de su información histórica nos genere un comportamiento energético, cuyos resultados serán comparados. Los resultados obtenidos indican que de acuerdo con la energía solar disponible y útil, cada una de las bases de datos tienen resultados diferentes, bajo el análisis desarrollado se definen a las bases NREL y PVGIS con información meteorológica de irradiación solar con un mejor rendimiento y potencial energético.

Palabras claves: PVSyst, sistema fotovoltaico, irradiación solar, panel solar

Abstract

In this project, the design of an autonomous photovoltaic system for the electrical installations of KGConstructora is proposed through modeling and simulation using the specialized software PVsyst, with the aim of reducing the consumption of electricity from the grid. The design of the photovoltaic system considers specialized databases, which contain historical data, such as METEONORM, NASA, NREL, and PVGIS. Using PVsyst software, a simulation of the photovoltaic system model is carried out to estimate the energy performance under the operational conditions of the electrical installation's energy demand and the solar irradiation conditions provided by each of the considered meteorological databases. Each of the databases will be treated as case studies, allowing their historical data to generate an energy performance, the results of which will be compared. The obtained results indicate that, based on the available and usable solar energy, each database yields different results. According to the developed analysis, the NREL and PVGIS databases provide solar irradiation information with better performance and energy potential.

Keywords: PvSyst, photovoltaic system, solar irradiation, solar panel

INDICE

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.....	viii
Dedicatoria:	ix
Agradecimiento:	x
Resumen:	xi
Abstract:	xii
INTRODUCCIÓN	1
Tema	1
Planteamiento del Problema	1
Problema científico.....	2
Preguntas científicas o directrices	2
Objetivo general	3
Objetivos específicos.....	3
Justificación	3
CAPÍTULO I	5
1.1. Contextualización espacio temporal del problema.....	5
1.2. Estado del arte. Artículos relacionados al tema.....	5
1.3. Cuerpo Teórico-conceptual.....	7
1.3.1. Energías Renovables.....	7
1.3.2. Energía Solar.....	8

1.3.3. Sistemas Fotovoltaicos	9
1.3.4. Celda fotovoltaica.....	9
1.3.5. Módulo Fotovoltaico	10
1.3.6. Panel Fotovoltaico	11
1.3.7. Arreglo fotovoltaico	12
1.3.8. Generación Distribuida (GD) basada en Generación Fotovoltaica	12
CAPÍTULO II.....	14
MARCO METODOLÓGICO.....	14
2.1. Enfoque Metodológico de la Investigación.....	14
2.2. Población, unidades de estudio y muestra y/o Unidad de Análisis (caso de estudio)	14
2.3. Métodos empíricos y técnicas empleadas para la recolección de la información	14
2.4. Formas de procesamiento de la Información Obtenida de la Aplicación de los Métodos y Técnica	15
CAPÍTULO III	18
3.1.Fundamentos de la propuesta.....	18
3.2. Presentación de la propuesta.....	22
3.3. Ejecución de la propuesta.....	23
3.3.1. Caso de Estudio 1: Base de Datos METEONORM	27
3.3.2. Caso de Estudio 2: Base de Datos NASA	29
3.3.3. Caso de Estudio 3: Base de Datos NREL.....	31
3.3.4. Caso de Estudio 4: Base de Datos PVGIS.....	33
Conclusiones.....	36
Recomendaciones	38
Referencias	39

Anexos	43
ANEXO I.....	43
ANEXO II	46
ANEXO III	49
ANEXO IV	52

INDICE DE FIGURAS

Figura 1: Proceso de reflexión y absorción de irradiación solar	9
Figura 2: Imagen referencial de una celda fotovoltaica	10
Figura 3: Imagen referencial de un módulo fotovoltaico	10
Figura 4: Imagen referencial de un panel fotovoltaico	11
Figura 5: Imagen referencial de un arreglo fotovoltaico.....	12
Figura 6: Parametrización del sistema fotovoltaico en PVsyst.....	16
Figura 6: Condiciones de operación para el desarrollo de la simulación.....	17
Figura 8: Diagrama de flujo de la metodología planteada	23
Figura 9: Detalle de cargas eléctricas de la instalación.....	27
Figura 10: Características meteorológicas. Caso de estudio 1	27
Figura 11: Resultados generales. Caso de estudio 1	28
Figura 12: Producción de energía normalizada (por kWp instalado). Caso de estudio 1	28
Figura 13: Tasa de rendimiento mensual. Caso de Estudio 1	29
Figura 14: Características meteorológicas. Caso de estudio 2	29
Figura 15: Resultados generales. Caso de estudio 2	30
Figura 16: Producción de energía normalizada (por kWp instalado). Caso de estudio 2	30
Figura 17: Tasa de rendimiento mensual. Caso de Estudio 2	31
Figura 18: Características meteorológicas. Caso de estudio 3	31
Figura 19: Resultados generales. Caso de estudio 3	32
Figura 20: Producción de energía normalizada (por kWp instalado). Caso de estudio 3	32
Figura 20: Tasa de rendimiento mensual. Caso de Estudio 3	33

Figura 22: Características meteorológicas. Caso de estudio 4	33
Figura 22: Resultados generales. Caso de estudio 4	34
Figura 22: Producción de energía normalizada (por kWp instalado). Caso de estudio 4	34
Figura 25: Tasa de rendimiento mensual. Caso de Estudio 4	35

INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Resultados del Cálculo de necesidades energéticas del usuario	24
Tabla 2: Resultados de la Energía solar disponible y arreglos de paneles solares	26
Tabla 3: Resultados del dimensionamiento del sistema de acumulación.....	26
Tabla 4: Resultados del dimensionamiento del sistema de regulación	26

INTRODUCCIÓN

Tema

ESTUDIO Y DISEÑO DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO PARA LAS INSTALACIONES DE KGCONSTRUCTORA UTILIZANDO DIFERENTES BASES DE DATOS

Planteamiento del Problema

Los sistemas eléctricos de potencia tienden a tener problemas de operación debido a eventos inusuales que pueden ser provocados por factores del entorno como por ejemplo por la caída de árboles, generan una serie de consecuencias negativas. En el caso de KGConstructora este tipo de eventualidades se traducen en: pérdidas económicas, debido a que los cortes de energía interrumpen los procesos productivos, generan pérdidas de datos y dañan equipos electrónicos. Otro aspecto importante se relaciona con la disminución de la productividad. La intermitencia en el suministro eléctrico reduce la eficiencia de las operaciones y afecta la calidad de los productos o servicios. En cuanto a los riesgos para la seguridad, estas fluctuaciones de voltaje pueden dañar equipos eléctricos y representan un peligro para los trabajadores, de forma que se produce la detención de las actividades en las obras en ejecución y la interrupción del suministro eléctrico que detiene las labores de construcción, como el funcionamiento de herramientas eléctricas, equipos de soldadura, iluminación, etc. En las oficinas impide el uso de computadoras, sistemas de comunicación, iluminación, y otros equipos electrónicos esenciales para la gestión de proyectos así también como las pérdidas económicas, los trabajadores quedan inactivos durante los cortes, lo que genera pérdidas de productividad y retrasos en la entrega de proyectos. Daños en lo equipos, los cortes de energía bruscos pueden dañar equipos electrónicos y maquinarias, generando costos de reparación o reemplazo, al igual que las pérdidas de materiales en algunos casos, los cortes pueden afectar la conservación de materiales, como el concreto fresco o alimentos en refrigeradores. En el ámbito administrativo, se traduce en multas por incumplimiento de plazos, los retrasos en la entrega de proyectos pueden acarrear multas contractuales y generar riesgos para la seguridad como trabajos a oscuras como los cortes de energía en obras en ejecución pueden aumentar el riesgo de accidentes laborales. La necesidad de un sistema de generación que complemente al suministro convencional se plasma en base a la problemática identificada. En este sentido, un sistema de generación es planteado frente a esta posibilidad basado en energía

renovable, el cual se considera debido al tipo de sistema que se maneja, se base en energía fotovoltaica, la misma que pueda aprovechar el recurso energético proveniente de la irradiación solar característico del sector por sus condiciones geográficas. En este sentido, surge la necesidad de emplear una metodología que permita el cálculo y el dimensionamiento óptimo del sistema fotovoltaico de manera que se aproveche los recursos energéticos provenientes de la irradiación solar.

Problema científico

Los sistemas fotovoltaicos son sistemas de generación basados en la conversión del recurso primario de la irradiación solar a energía eléctrica. Se trata de un sistema de generación de energía eléctrica que se basa en recursos primarios de energías renovables, de características intermitentes propios de la variabilidad existente en la irradiación solar propio de las condiciones meteorológicas. De acuerdo con las necesidades energéticas, es posible su dimensionamiento a través de cálculos que estimen la potencia generada en base a la cantidad de irradiación solar disponible. Además, mediante software especializado, es posible realizar simulaciones que permitan emular el comportamiento del sistema, de tal manera que se pueda realizar una comprobación y estimación de los posibles errores obtenidos dentro del procesos de dimensionamiento. La posibilidad de integrar este tipo de sistemas de generación en los clientes residenciales, brindan la posibilidad de que estos puedan minimizar su consumo energético, lo cual, se consolida en la reducción en los costos relacionados con el consumo energético del sistema de distribución eléctrica.

Preguntas científicas o directrices

¿Es posible a partir de un diseño óptimo mediante cálculos matemáticos y simulaciones de un sistema fotovoltaico para las instalaciones eléctricas de KGConstructora con la finalidad de reducir el consumo de energía eléctrica proveniente de la red?

¿Qué tipo de bases de datos son las más relevantes para optimizar el diseño de un sistema fotovoltaico en el contexto específico de KGConstructora?

¿Cuál es el impacto de los datos de las bases de datos sobre la precisión de las diseños de un sistema fotovoltaico?

Objetivo general

Diseñar un sistema fotovoltaico autónomo en las instalaciones eléctricas de KGConstructora a través de cálculos matemáticos y simulaciones con software especializado (PVsyst) con el fin de reducir el consumo de energía eléctrica proveniente de la red, disminuir los costos operativos y contribuir a la sostenibilidad ambiental de la empresa utilizando diferentes bases de datos meteorológicos.

Objetivos específicos

- Definir los aspectos metodológicos para dimensionar el sistema fotovoltaico. Cubriendo parámetros tales como del cálculo de la potencia nominal y de la selección de características del sistema fotovoltaico.
- Realizar la simulación del comportamiento del sistema fotovoltaico, en base al uso de software especializado PVsyst.
- Evaluar la producción de energía del sistema y su capacidad para satisfacer la demanda. Y analizar el rendimiento del sistema bajo diferentes condiciones climáticas.

Justificación

El presente proyecto de titulación se justifica principalmente con el diseño, simulación y evaluación de un sistema fotovoltaico de tipo autónomo destinado a satisfacer la demanda de energía eléctrica de las instalaciones de Kgconstructora. Este estudio se centra en desarrollar una solución técnica y económicamente viable que permita el aprovechamiento del recurso de energía solar con la finalidad de la reducción de la dependencia de la red eléctrica convencional y, consecuentemente, disminuir los costos operativos asociados al consumo de energía eléctrica. Una vez definido el diseño del sistema, se llevará a cabo una simulación detallada utilizando software especializado para evaluar su desempeño y predecir su producción energética a lo largo de un año. Esta etapa permitirá validar el diseño y ajustar los parámetros del sistema si fuera necesario. Posteriormente, se procederá a la instalación física del sistema fotovoltaico en las instalaciones de

la empresa, incluyendo la implementación de los paneles solares, la conexión de los respectivos elementos y la puesta en marcha del sistema. Para finalizar, se realizará un estudio comparativo de los ahorros energéticos obtenidos con la implementación del sistema fotovoltaico. Para ello, se monitorizará el consumo de energía eléctrica antes y después de la instalación del sistema, y se calcularán los ahorros económicos derivados de la reducción en la factura eléctrica. Además, se evaluará el impacto ambiental del proyecto, considerando minimizar las emisiones de gases de efecto invernadero asociadas a la generación de energía eléctrica a partir de fuentes fósiles.

Variables

Dependientes.

Potencia generada del sistema fotovoltaico

Independientes.

Variables meteorológicas, entre las cuales se encuentran la temperatura y la irradiación solar.

Idea a defender y/o Hipótesis

La integración de diversas bases de datos en el diseño del sistema fotovoltaico permite optimizar para la selección de componentes y la configuración del sistema, resultando en un diseño fotovoltaico más eficiente.

CAPÍTULO I

1.1.Contextualización espacio temporal del problema

El uso de sistemas fotovoltaicos (PV) ha ido obteniendo un enorme impulso en consideración a la minimización de los costos de producción y del desarrollo tecnológico que ha avanzado en un 50% durante los últimos cinco años. Los avances tecnológicos están relacionados con los interfaces con la red eléctrica y además del uso de sistemas PV en la generación de energía de forma local independiente y también se a enfocado en su aplicación en edificios inteligentes, que, al convertirse en sistemas de respaldo, han ido incrementando su uso como forma emergente de fuente de energía renovable.

A la mayor parte de países, los gobiernos han ido instituyendo incentivos especiales y créditos fiscales, además de programas de tarifas de incentivos y legislación de devolución de compra de energía, con la finalidad de promover e incentivar a los fabricantes y consumidores con el objetivo de impulsar nuevas inversiones con el uso de energía renovable, entre ellos la energía solar fotovoltaica en diferentes sectores productivos (Altas & Sharaf, 2014).

1.2.Estado del arte. Artículos relacionados al tema.

En la literatura existen diversas aplicaciones relacionadas con el diseño de sistemas fotovoltaicos y el manejo del software PVsyst, a continuación, un breve resumen de los principales trabajos de investigación que se han considerado como referencia en el estudio del estado del arte realizado.

Por ejemplo, en (Sharma & Kurian, 2018) realiza el diseño de un sistema fotovoltaico para una institución académica a través del uso del software PVsyst. Para esta finalidad, define parámetros tales como de la localización geográfica, irradiación solar, tipo de módulos fotovoltaicos y su orientación, de manera que se obtiene como resultado inicial el rendimiento del sistema. Para el desarrollo de las simulaciones define diferentes condiciones de carga en la edificación para de esta manera obtener la máxima potencia, relación de rendimiento y eficiencia. En cuanto al análisis comparativo que proponen, desarrollan un análisis en laboratorio del sistema para una carga en laboratorio, considerando una inclinación fija con varios ángulos de acimut, de tal manera que consiguen una producción específica y una mejor eficiencia del sistema. Finalmente proponen un

análisis complementario en cuanto a la medición del impacto en las emisiones del CO₂. Para cubrir las necesidades energéticas de una determinada carga (Ulinuha, Asy'ary, Hasan, & Saputro, 2024) propone suplir de energía eléctrica de forma complementaria a la red de distribución convencional a partir de un sistema fotovoltaico a una edificación escolar. Para esta finalidad, dentro del diseño emplea el uso del software PVsyst. Dentro del ámbito metodológico realiza tanto el aspecto de simulación como de la implementación del sistema. De tal manera que efectúa un análisis comparativo de estos dos sistemas (simulación y real) para determinar los ajustes necesarios en el diseño dentro de su implementación. En el diseño se emplea datos de carga eléctrica, capacidad de irradiación solar, entre otros. El producto final que obtienen no se limita a un ámbito de sistema de generación, sino que también lo emplean como un módulo didáctico para los estudiantes.

A nivel mundial cambiar la matriz energética es una necesidad de gran importancia, (Baqir & Kaur Channi, 2022) detalla la problemática energética en Afganistán, y las tecnologías de generación fotovoltaica que se está llevando para suplir la creciente demanda de energía en dicho país. En este sentido, propone el diseño y simulación de un sistema fotovoltaico a través del uso del software PVsyst con el objetivo de determinar los requerimientos energéticos basados en una carga de tipo residencial. Para esta finalidad, considera parámetros tales como de la localización geográfica, irradiación solar, orientación e inclinación de los módulos fotovoltaicos, además de un sistema de monitoreo ambiental con mediciones de velocidad del viento, temperatura ambiente y humedad, entre otros. El resultado que se obtiene es de la producción energética anual, considerando los diferentes rendimientos propios de las condiciones de operación definidas.

En relación con el software especializado para el diseño de sistemas fotovoltaicos, (Mishra, Rathore, & Jain, 2024) enfoca el uso del software PVsyst a un análisis basado en simulación de la generación de energía de un sistema fotovoltaico de 5 MWp. Para esta finalidad, se hace un contraste entre el rendimiento proyectado a partir de simulaciones con la generación real de un sistema fotovoltaico instalado que tiene la misma capacidad. Dentro del análisis, hace una comparativa entre los resultados reales y los simulados. Dentro de los resultados obtenidos, resaltan que existen una gran aproximación entre los rendimientos proyectados y los reales, de tal manera, que se verifica la alta confiabilidad en los resultados obtenidos en el software PVsyst en la emulación del rendimiento del sistema fotovoltaico. Lo cual concluyen que el software arroja resultados confiables frente al ajuste y evaluación de sistemas fotovoltaicos, de tal manera que

resalta la capacidad frente a la toma de decisiones para la estimación energética. Otro caso planteado se muestra en (Kumar, Rajoria, Sharma, & Suhag, 2020) realiza el análisis de los requerimientos de carga en la edificación de un centro educativo en la India, para lo cual proponen el diseño e instalación de un sistema fotovoltaico autónomo. En este sentido, por fines de análisis, se hace un estudio de relación de rendimiento y pérdidas en el sistema a través del uso del software PVsyst. Uno de los hallazgos importantes es que existe un déficit de energía en comparación a la carga, lo cual se relaciona con la existencia de pérdidas en el sistema convencional. Para lo cual, se realiza el diseño del sistema fotovoltaico bajo diferentes condiciones de operación y ambientales, de tal manera que se definen estos parámetros, con la posibilidad de obtener resultados que validen la necesidad de la implementación del sistema fotovoltaico. Finalmente, (Ahmad & Ahmad, 2019) tiene como premisa demostrar que el rendimiento de los sistemas fotovoltaicos tiene dependencia de la situación geográfica y del tipo de módulos fotovoltaicos utilizados. Basado en que los sistemas fotovoltaicos tienen un mayor rendimiento en zonas con altas cantidades de irradiación solar, se propone un estudio que desarrolle una metodología estándar para el diseño de sistemas fotovoltaicos de 1 kW conectados a la red a partir de simulaciones en el software PVsyst. A partir del uso de bases de datos meteorológicas que incluye datos de irradiación solar horizontal e incidente, además de información de diversos componentes de sistemas de energías renovables de diferentes fabricantes. Los resultados obtenidos arrojan que el sistema fotovoltaico diseñado tiene la capacidad de suministrar la suficiente energía eléctrica a la carga considerada bajo las condiciones definidas en el estudio.

1.3.Cuerpo Teórico-conceptual

1.3.1. Energías Renovables

La energía es el componente básico y fundamental para el desarrollo de infraestructura y de la productividad. En general, la energía ha sido producida por parte de la extracción de combustibles fósiles, los cuales son grandes productores de gases de efecto invernadero, que ha incurrido en grandes afectaciones al ambiente, frente al gran incremento de la demanda de energía, especialmente por el incremento y acelerado uso de este tipo de energía. Bajo esta problemática, surgió la necesidad de explorar otras alternativas energéticas, de tal manera que se exploró a las denominadas energías renovables (R., D., & M., 2015).

Las energías renovables son una fuente de energía que se renueva de forma natural sin que llegue a agotarse su recurso primario en la Tierra. Entre las principales fuentes de energías renovables se encuentran a la bioenergía, energía hidroeléctrica, geotérmica, energía solar, entre otros (Asumadu-Sarkodie, 2016).

Las tecnologías renovables como se mencionó anteriormente se consideran como fuentes de energía limpias, que, frente a un uso óptimo de estos recursos, se produce una reducción significativa en cuanto a los impactos ambientales, de tal manera que se produce un mínimo de desechos secundarios, y que además es sostenible en relación con las necesidades económicas (Panwar & Kaushik, 2011).

Las energías renovables son importantes en el cambio de la matriz energética, es decir, en el cambio de la dependencia de las energías basadas en combustibles fósiles a o no renovables hacia un nuevo paradigma de las energías renovables no convencionales (ENRC).

En el creciente desarrollo tecnológico, las energías renovables han ido ganando popularidad en aplicaciones de uso residencial e industrial considerando las ventajas tales como de su disponibilidad, confiabilidad y al ser amigables con el ambiente (Sahu & Raheman, 2020).

1.3.2. Energía Solar

La energía solar es una fuente de gran abundancia, además de ser un tipo de energía limpia y eficiente que se encuentra disponible en el planeta. La energía solar se la puede obtener en forma de calor e irradiación solar, cuyo proceso natural se lo puede observar en la Figura 1. Este tipo de energía requiere de una serie de tecnologías, las cuales en los últimos años se encuentran en constante evolución y desarrollo, teniendo en consideración aplicaciones basadas en energía solar térmica, arquitectura solar, sistemas de calefacción solar, generación eléctrica y fotosíntesis artificial.

Lo atractivo de la energía solar, es la gran magnitud de energía solar disponible. En donde, aproximadamente el 30% de la irradiación solar se devuelve al espacio, en cuanto al resto de energía es absorbida por los océanos, las nubes y las masas de la tierra (Shaikh, Waghmare, Labade, & Tekale, 2017).

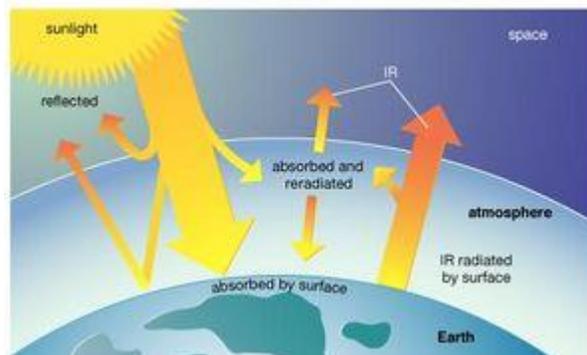


Figura 1: Proceso de reflexión y absorción de irradiación solar
Fuente: (Ashok, 2024)

La energía solar se la considera como una fuente confiable, prometedora y confiable. Entre sus principales ventajas se encuentra en su papel no contaminante, durabilidad, requerimientos de bajo mantenimiento, entre otros.

El principal uso de energía solar está basado en el manejo de sistemas fotovoltaicos, los cuales tienen una tendencia de crecimiento rápido se asocia con el desarrollo tecnológico en cuanto a las mejoras en las mejoras en cuanto a la eficiencia de las celdas solares (Husain, Hasan, Shafie, Hamidon, & Pandey, 2018).

1.3.3. Sistemas Fotovoltaicos

Los sistemas fotovoltaicos tienen como característica la de convertir la energía solar en energía eléctrica a través de celdas fotovoltaicas de material semiconductor (Kazem, Chaichan, Al-Waeli, & Gholami, 2022).

La energía fotovoltaica es altamente usada desde pequeña hasta gran escala, conectada a la red a través de la denominada generación distribuida. Tienen una expectativa de vida útil a variadas condiciones de por lo menos entre 20 a 30 años (Office of Energy Efficiency and Renewable Energy, 2022).

1.3.4. Celda fotovoltaica

Las celdas convierten la irradiación fotovoltaica a través de un proceso físico a energía eléctrica. Las celdas se basan en elementos semiconductores que permiten este proceso físico de

transformación energética (Shaikh, Waghmare, Labade, & Tekale, 2017). Presentan dos tipos de elementos: carga positiva y negativa, tal como se puede observar en la Figura 2.

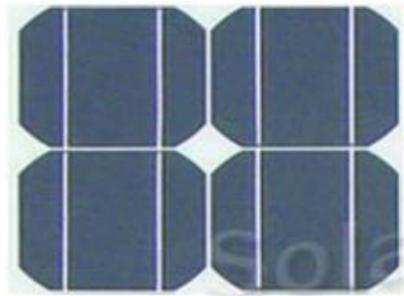


Figura 2: Imagen referencial de una celda fotovoltaica
Fuente: (Ashok, 2024)

La tecnología en la cual se basa las celdas es usada con la finalidad de tener un bajo costo y una alta eficiencia dentro de la conversión de energía. La conversión de energía se basa en la absorción de fotones provenientes de la luz solar, en donde, los electrones se desprenden de los átomos de silicio y son arrastrados a través de una red de conductores metálicos, de forma que se genera un flujo de corriente continua.

1.3.5. Módulo Fotovoltaico

Un módulo fotovoltaico se trata de la formación de circuitos de celdas fotovoltaicas que se sellan en un laminado protector (del ambiente) y se los considera como los componentes fundamentales de un sistema fotovoltaico (Shaikh, Waghmare, Labade, & Tekale, 2017).



Figura 3: Imagen referencial de un módulo fotovoltaico
Fuente: (Shaikh, Waghmare, Labade, & Tekale, 2017)

Su tamaño oscila en tamaños de entre 60 y 170 W. La configuración de los módulos fotovoltaicos suele ser en serie y en paralelo, de forma que se pueda satisfacer las necesidades energéticas (AutoSolar, 2024).

- **Configuración serie:** la finalidad de la configuración en serie de los módulos fotovoltaicos es el de incrementar el voltaje (hasta un valor específico) a la salida del arreglo, de tal manera que la corriente permanece constante.
- **Configuración paralela:** al contrario de la configuración en paralelo, tiene como objetivo el de incrementar la corriente (hasta un valor específico) a la salida del arreglo, de tal manera que se mantiene el voltaje de forma constante.

1.3.6. Panel Fotovoltaico

Un panel fotovoltaico está conformado por uno o más módulos fotovoltaicos, los cuales se encuentran ensamblados como una unidad (Shaikh, Waghmare, Labade, & Tekale, 2017). En un panel, las celdas fotovoltaicas se encuentran conectadas en serie. En general, los paneles solares se encuentran formados por celdas solares individuales que se conectan entre sí. El ejemplo de un panel fotovoltaico se muestra en la Figura 4.

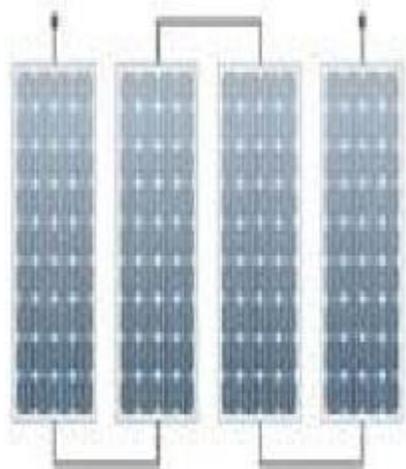


Figura 4: Imagen referencial de un panel fotovoltaico
Fuente: (Shaikh, Waghmare, Labade, & Tekale, 2017)

1.3.7. Arreglo fotovoltaico

Un arreglo fotovoltaico (o también conocido como array), se compone de varias celdas fotovoltaicas conectadas en serie y en paralelo. Bajo los criterios indicados anteriormente configuración serie y paralelo. Una de las características más relevantes que presenta, es que en cuanto mayor superficie total del conjunto se dispongan, mayor energía eléctrica será producida.

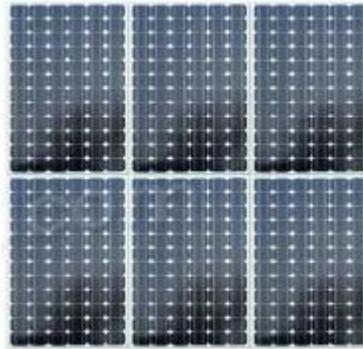


Figura 5: Imagen referencial de un arreglo fotovoltaico
Fuente: (Shaikh, Waghmare, Labade, & Tekale, 2017)

1.3.8. Generación Distribuida (GD) basada en Generación Fotovoltaica

La generación distribuida se trata de tecnologías de generación de energía eléctrica a pequeña escala que brinda servicio de a los clientes in situ, además, puede tener la capacidad de apoyo a una red de distribución, la misma que puedes estar conectada a la red a diferentes niveles de voltajes a nivel de distribución. Entre las tecnologías más usadas están el manejo de motores, pequeñas turbinas, pilas de combustible y sistemas fotovoltaicos (Gonzalez-Longatt & Fortoul, 2005).

La integración de sistemas fotovoltaicos se basa en las siguientes categorías (Bawazir, 2020):

- *Microgeneración Distribuida:* 1 W a 5 kW.
- *Pequeña GD:* 5 kW a 5 MW.
- *Mediana GD:* 5 MW a 50 MW.
- *Gran GD:* 50 MW a 300 MW.

La generación distribuida basada en recursos energéticos renovables aportan a la red eléctrica convencional en el aumento de la capacidad de suministro de energía, mejora de la confiabilidad, seguridad, flexibilidad y la calidad de la energía eléctrica.

Para el caso de los sistemas fotovoltaicos conectados al sistema a través de GD aportan al sistema eléctrico en aspectos tales como de la reducción de las pérdidas en los sistemas de transmisión y distribución, aumento de la disponibilidad de recursos de energía durante las horas de demanda pico.

En relación con la estabilidad del sistema, la integración de la generación distribuida ayuda a que se mantenga los voltajes en niveles estables dentro del sistema de distribución (Ruiz-Romero, Colmenar-Santos, & Mur-Pérez, 2014).

CAPÍTULO II

MARCO METODOLÓGICO

2.1. Enfoque Metodológico de la Investigación

El estudio por realizarse se basa en un enfoque cualitativo, considerando que se manejarán datos históricos de información meteorológica para la estimación de la capacidad de generación fotovoltaica en potencia efectiva y demás valores a obtenerse dentro de la estimación energética.

En este contexto, el estudio se enfoca experimentalmente a la obtención de resultados a través de simulación dentro de un software especializado denominado PVsyst. En este sentido, se consideran datos de prueba que son la información meteorológica y la demanda de energía de la edificación considerada y como resultado se prevé obtener la estimación de energía requerida por el sistema fotovoltaico.

2.2. Población, unidades de estudio y muestra y/o Unidad de Análisis (caso de estudio)

Los datos meteorológicos se consideran en función de la localización geográfica, la cual corresponde a la localidad de El Carmen, al norte de la ciudad de Quito, cuyas características son:

- Latitud: -0.12°S , Longitud: -78.44°W
- Altitud: 2621 msnm.

2.3. Métodos empíricos y técnicas empleadas para la recolección de la información

La recolección de información se la realiza a través de bases de datos históricos que se encuentra en la red de internet, la misma que son utilizados y emitidos con fines académicos para uso en el ámbito de investigación, no solamente energética, sino que es usada en el aspecto multidisciplinario tal como el sector ambiental que está muy vinculado con el aspecto energético. Estas bases de datos son promovidas por organismos internacionales, en donde a partir de sus recursos tecnológicos dan la facilidad de acceso a su información que en la mayor parte es de libre acceso o limitado.

2.4. Formas de procesamiento de la Información Obtenida de la Aplicación de los Métodos y Técnicas

a. Selección de bases de datos

En la extracción de los datos meteorológicos se considera el uso de base de datos que contienen información histórica, la misma que es de utilidad para el desarrollo del presente trabajo. En este sentido, se han considerado las siguientes bases de datos:

- *Meteonorm* (Meteotest, 2024): se trata de una base de datos que contiene información histórica en series temporales de irradiación solar, temperatura, humedad, precipitación y velocidad del viento. La información histórica tiene una actualización desde el año 2010.
- *NASA*: provee de información meteorológica en forma de series temporales a partir de datos provenientes de sus satélites.
- *NREL (National Renewable Energy Laboratory)* (NREL, 2024): provee de información histórica referente a datos meteorológicos teniendo en cuenta datos de irradiación solar y velocidad del viento. Los datos provienen de estaciones en tierra y de datos satelitales.
- *PVGIS (Photovoltaic Geographical Information System)* (European Commission, 2024): provee de información de irradiación solar y del rendimiento de sistemas fotovoltaicos en cualquier localidad del mundo, a excepción de los polos norte y sur.

b. Parametrización del Modelo Fotovoltaico en el software PVsyst

La parametrización del sistema fotovoltaico se lo realiza a partir de la siguiente información:

- Orientación de campo del sistema PV (Tilt/Azimuth).
- Número de paneles solares
- Potencia Nominal (Pnom-Wp)
- Características del sistema de baterías (Número de unidades, Tecnología, Voltaje y capacidad -Ah).
- Configuración de los paneles fotovoltaicos.

- Controlador (MPPT)

En la Figura 6 se muestra una vista general de la parametrización del sistema fotovoltaico en el software PVsyst.

General parameters			
Standalone system		Standalone system with batteries	
PV Field Orientation			
Orientation			
Fixed plane		Sheds configuration	
Tilt/Azimuth	15 / 0 °	No 3D scene defined	
Models used			
		Transposition	Perez
		Diffuse	Perez, Meteonorm
		Circumsolar	separate
User's needs			
Daily household consumers			
Constant over the year			
Average	13.9 kWh/Day		
PV Array Characteristics			
PV module		Battery	
Manufacturer	Jinkosolar	Manufacturer	Victron Energy
Model	JKM-430N-54HL4	Model	LFP-CB 12.8V / 200Ah
(Original PVsyst database)			
Unit Nom. Power	430 Wp	Technology	Lithium-ion, LFP
Number of PV modules	8 units	Nb. of units	6 in parallel x 2 in series
Nominal (STC)	3440 Wp	Discharging min. SOC	10.0 %
Modules	2 Strings x 4 In series	Stored energy	27.3 kWh
Battery Pack Characteristics			
At operating cond. (50°C)			
Pmpp	3181 Wp	Voltage	26 V
U mpp	117 V	Nominal Capacity	1212 Ah (C10)
I mpp	27 A	Temperature	Fixed 20 °C
Controller		Battery Management control	
Universal controller		Threshold commands as	SOC calculation
Technology	MPPT converter	Charging	SOC = 0.96 / 0.80
Temp coeff.	-5.0 mV/°C/Elem.	Discharging	SOC = 0.10 / 0.35
Converter			
Maxi and EURO efficiencies	97.0 / 95.0 %		
Total PV power			
Nominal (STC)	3.44 kWp		
Total	8 modules		
Module area	15.6 m ²		

Figura 6: Parametrización del sistema fotovoltaico en PVsyst

Fuente: Propia

c. Simulación del Modelo Fotovoltaico

Para la simulación del modelo del sistema fotovoltaico se considera la carga de demanda de energía eléctrica y la distribución horaria de energía. Es decir, se requiere considerar los consumos horarios y diarios por parte de las cargas. En este sentido, en la Figura 7 se muestra el detalle de las condiciones de operación configurados en el software PVsyst previo a la ejecución de la simulación.

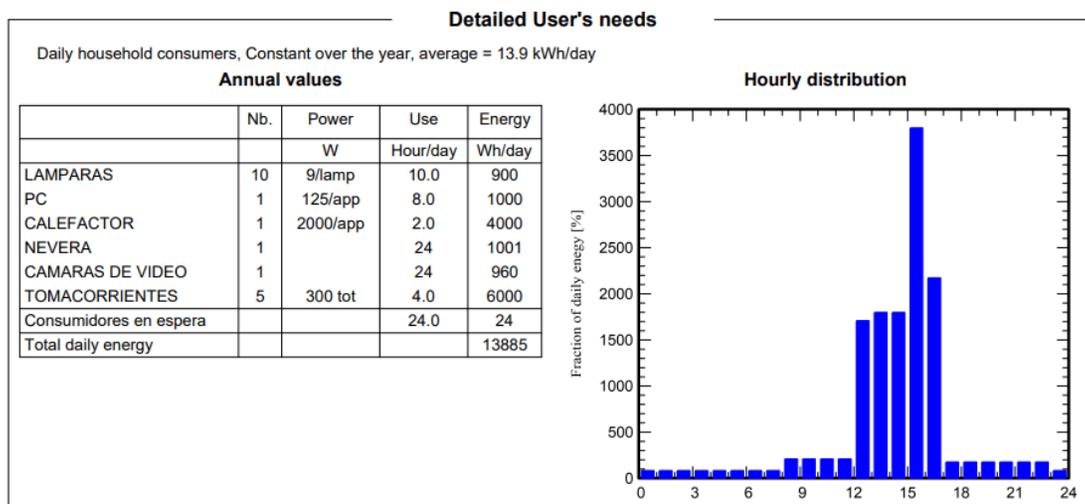


Figura 7: Condiciones de operación para el desarrollo de la simulación

Fuente: Propia

d. Reporte de Resultados

El reporte de resultados que arroja el software PVsyst para cada uno de los casos de estudio a considerarse serán los siguientes a breve resumen:

- *Producción del sistema:* los resultados son la energía útil proveniente de la energía solar (kWh/año), energía solar disponible (kWh/año) y la energía no usada (exceso) (kWh/año).
- *Pérdidas de carga:* resultados relacionados con la fracción de tiempo (%), energía perdida (kWh/año), índice de rendimiento (%), fracción solar (%).
- *Envejecimiento de la batería (estado de desgaste):* estado de desgaste por ciclo (%), estado de desgaste estático (%), tiempo de vida útil (años).
- *Balances de energía:* en este reporte se hace un resumen general de forma mensual de parámetros tales como de la irradiación global, irradiación global efectiva (considerando efecto sombra), energía solar disponible (kWh), Energía no utilizada-batería llena (kWh), energía perdida (kWh), energía suministrada al usuario (kWh), energía requerida por el usuario-carga (kWh), fracción solar (índice).

Nota: la fracción solar es la relación entre la energía usada y la energía requerida por la carga.

CAPÍTULO III

PROPUESTA DEL DESARROLLO DEL PROYECTO TÉCNICO

3.1. Fundamentos de la propuesta

En base a lo definido en el marco conceptual, el fundamento de la propuesta del trabajo de titulación se basa en la Regulación Nro. ARCERNNR-008/23, la misma que se trata de una normativa a nivel del Ecuador emitida por la Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales no Renovables (ARCERNNR), que regula el diseño e implementación de sistemas tales como el que se propone en el proyecto de titulación. Bajo esta perspectiva, a continuación, se detalla de forma breve las principales características y lineamientos de la Regulación.

3.1.1. Regulación Nro. ARCERNNR-008/23. Marco Normativo de la generación distribuida para el autoabastecimiento de consumidores regulados de energía eléctrica

La Regulación Nro. ARCERNNR-008/23 define un nuevo marco normativo para la generación distribuida con fines de autoabastecimiento. La cual promueve el uso de energías renovables no convencionales, de tal manera que incentiva a los consumidores regulados la instalación de este tipo de sistemas de generación.

Bajo esta regulación se establecen las diferentes disposiciones frente a la habilitación, instalación, conexión, operación y mantenimiento de los denominados Sistemas de Generación Distribuida para Autoabastecimiento (SGDA) de consumidores regulados, además de definir las disposiciones para la medición y facturación de la energía eléctrica de consumidores regulados que dispongan de SGDA.

Entre las características relevantes de la regulación, se contempla modalidades de autoabastecimiento, las cuales abarcan tanto instalaciones locales como remotas. Estas son:

- Autoabastecimiento individual y múltiple en un mismo inmueble.
- Autoabastecimiento remoto (individual o múltiple) en diferentes ubicaciones, ya sea a través de consumidores concentrados o dispersos.

Esta normativa introduce ciertas condiciones de operación, entre las cuales está la potencia de los SGDA, que puede superar los 2 MW si no hay inyección a la red eléctrica. Para el caso de la existencia de inyección a la red, la potencia máxima permitida es de 2 MW, siempre que la factibilidad técnica sea aprobada por parte de la empresa distribuidora.

Como se puede observar, la regulación indicada tiene como objetivo el de fomentar el uso de tecnologías limpias basadas en energías renovables no convencionales, de forma que se mejore la participación de los consumidores en la generación de energía eléctrica, con la finalidad de reducir los riesgos de desabastecimiento energético, especialmente en épocas como el estiaje.

3.1.2. Cálculos para la Estimación Energética

Determinación de las necesidades del usuario

La energía diaria de la carga de un equipo se lo determina de la siguiente manera:

$$E_i = N_i * P_i * t_i \quad (1)$$

Donde:

E_i : energía demandada por el equipo i [Wh/día]

N_i : número de cargas del equipo i

P_i : Potencia consumida por el equipo i [W]

t_i : horas de uso del equipo i por día [hr/día]

La energía total consumida se calcula mediante la sumatoria de todas las energías de los N equipos:

$$E_{total} = \sum_{i=1}^N E_i \quad (2)$$

El consumo de corriente por hora al día se lo calcula considerando una carga de tipo DC:

$$I_{consumida} = \frac{E_{total}}{V_{sistDC}} \left[\frac{Ah}{día} \right] \quad (3)$$

En donde V_{sistDC} es el voltaje DC del sistema, por lo general se asumirá un valor de 24 VDC.

Determinación de las pérdidas totales del sistema

El cálculo de las pérdidas se considera en función de cada una de las pérdidas de cada subsistema y elemento (K_a, K_b, K_c, K_r, K_v) y del tiempo de autonomía D_{auton} .

$$K_T = \left(1 - (K_b + K_c + K_r + K_v) * \left(1 - \frac{K_a * D_{auton}}{PD} \right) \right) [p. u.] \quad (4)$$

Carga energética máxima del sistema

La carga máxima se relaciona entre el consumo de corriente del usuario y las pérdidas totales del sistema.

$$C_{max} = \frac{N_{usuario} [Ah/día]}{K_T} \quad (5)$$

Determinación de la energía solar disponible

La energía diaria del panel solar se lo calcula mediante:

$$E_{panel} \left[\frac{Wh}{día} \right] = HPS * P_{pico} * \eta_{panel} \quad (6)$$

Donde P_{pico} es la potencia pico del panel [W_p] y η_{panel} es la eficiencia del panel.

$$HPS \left[\frac{h}{día} \right] = \frac{H}{1000 \frac{W}{m^2}} \quad (7)$$

Donde H es la erradicación solar en Wh/m^2 .

Dentro del arreglo de paneles solares es importante conocer el número de ramas en paralelo y en serie, en este sentido, se usan las siguientes expresiones:

$$N_{ramasparalelo} = \frac{C_{max}}{V_{nom_panel}} \quad (8)$$

$$N_{modulosserie} = \frac{V_{sistDC}}{V_{nom_panel}} \quad (9)$$

Finalmente, el número total de paneles se lo calcula:

$$Paneles_{totales} = N_{ramasparalelo} * N_{modulosserie} \quad (10)$$

Dimensionamiento del sistema de acumulación

En este punto, se realizará el dimensionamiento del sistema de baterías.

$$C_{sistemaacumulacion} = \frac{C_{max} * D_{auton}}{PD} \quad (11)$$

$$N_{bateriasparalelo} = \frac{C_{sistemaacumulacion}}{C_{nominalbateria}} \quad (12)$$

$$N_{bateriasserie} = \frac{V_{nominalcc}}{V_{nominalbateria}} \quad (13)$$

$$Baterías_{totales} = N_{bateriasparalelo} * N_{bateriasserie} \quad (14)$$

Dimensionamiento del sistema de regulación

Los parámetros de dimensionamiento del sistema de regulación se muestran a continuación:

$$I_{entreg} = 1.25 * I_{sctpanel} * N_{ramasparalelo} \quad (15)$$

$$N_{regparalelo} = \frac{I_{reg}}{I_{nomreg}} \quad (16)$$

$$N_{regserie} = \frac{V_{sistDC}}{V_{nomreg}} \quad (17)$$

Dimensionamiento del sistema de inversión

El dimensionamiento se lo realiza a partir del cálculo de la potencia aparente:

$$S_{diseñoinvertor} = V_{sistDC} * I \quad (18)$$

3.2. Presentación de la propuesta

Para el desarrollo de propuesta se ha considerado la elaboración de un diagrama de flujo que sintetice cada uno de los procesos a seguir para la obtención de los resultados, la cual se muestra en la Figura 6. Tomando en consideración el marco metodológico del Capítulo II, los procesos generales a seguir dentro de la propuesta y en detalle al diagrama de flujo, son los siguientes:

- *Extracción de datos meteorológicos:* se considera un proceso de selección de datos históricos que son útiles en el desarrollo de proyectos fotovoltaicos.
- *Selección de la base de datos:* en relación a las bases de datos consultadas y determinadas, se procede a seleccionar los datos históricos para posteriormente definir los diferentes casos de estudio en base de cada uno de los paquetes de datos emitidos por estas bases de datos.
- *Parametrización del modelo fotovoltaico en PVsyst:* en función de las características de la localización geográfica, necesidades energéticas (demanda de energía) y condiciones meteorológicas, se procede a parametrizar el modelo del sistema fotovoltaico en PVsyst.
- *Simulación del modelo fotovoltaico en PVsyst:* se procede a realizar las simulaciones de los casos de estudio definidos y en función de la parametrización previa del modelo.
- *Reporte de resultados:* se obtiene los reportes de resultados en función de los casos de estudio definidos.

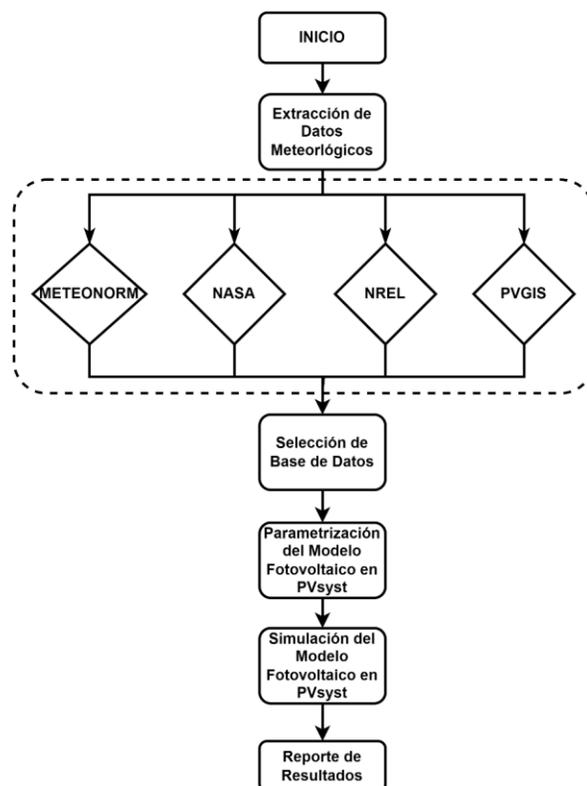


Figura 8: Diagrama de flujo de la metodología planteada
Fuente: Propia

3.3.Ejecución de la propuesta

El análisis de resultados se considera inicialmente con la comparativa de resultados obtenidos de los cálculos. En el caso de las pérdidas, se obtuvo para todos los casos de estudio un valor de 0.822. La carga energética máxima del sistema es de 702.779 Ah/día.

Las condiciones operativas de los paneles solares son: $P_{picopanel} = 430 W$, $\eta_{panel} = 0.9$, $V_{nompanel} = 24 V$

Por motivos prácticos, a continuación, se detalla un ejemplo de cálculo tomando en cuenta el caso de estudio 1 de la base de datos METEONORM y las condiciones operativas mostradas anteriormente.

Cálculo de necesidades energéticas del usuario

Tabla 1: Resultados del Cálculo de necesidades energéticas del usuario

Equipo	Número N	Potencia P(W)	Horas de uso diario (hr/día)	Energía diaria (Wh/día)
Iluminación	10	9	10	$E_1 = N_1 * P_1 * t_1$ $E_1 = 900$
PC	1	125	8	$E_2 = N_2 * P_2 * t_2$ $E_2 = 1000$
Calefactor	1	2000	2	$E_3 = N_3 * P_3 * t_3$ $E_3 = 4000$
Nevera	1	166	6	$E_4 = N_4 * P_4 * t_4$ $E_4 = 996$
Cámaras de video	1	40	24	$E_5 = N_5 * P_5 * t_5$ $E_5 = 960$
Tomacorrientes	5	300	4	$E_6 = N_6 * P_6 * t_6$ $E_6 = 6000$

La energía total calculada es:

$$E_{total} = E_1 + E_2 + E_3 + E_4 + E_5 + E_6$$

$$E_{total} = 13.856 \text{ kWh/día}$$

$$N_{usuario} = \frac{E_{total}}{V_{sistDC}} = \frac{13.856}{24}$$

$$N_{usuario} = 577.33 \text{ Ah/día}$$

Cálculo de la determinación de pérdidas totales del sistema

$$K_T = \left(1 - (K_b + K_c + K_r + K_v) \left(1 - \frac{K_a * D_{auton}}{PD} \right) \right)$$

$$K_T = 0.822$$

Cálculo de la carga energética máxima del sistema

$$C_{max} = \frac{N_{usuario}}{K_t} = \frac{577 - 33}{0.822}$$

$$C_{max} = 702.779 \text{ Ah/día}$$

Cálculo de la energía solar disponible

$$HPS(h) = 4.84 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2 \text{ día}}$$

$$E_{panel} = HPS * P_{pico} * \eta_{panel}$$

$$E_{panel} = 1.873 \text{ kWh/día}$$

$$N_{ramasparalelo} = \frac{C_{max}}{N_{usuario}}$$

$$N_{ramasparalelo} = 9$$

$$N_{modulosserie} = \frac{V_{sistDC}}{V_{nompanel}}$$

$$N_{modulosserie} = 1$$

$$Paneles_{totales} = N_{ramasparalelo} * N_{modulosserie}$$

$$Paneles_{totales} = 9$$

Cálculo del sistema de almacenamiento

$$C_{sistalmacenamiento} = \frac{C_{max} * D_{auton}}{PD}$$

$$C_{sistalmacenamiento} = 1171 \text{ Ah}$$

$$N_{batparalelo} = \frac{C_{sistalmacenamiento}}{C_{nombateria}}$$

$$N_{batparalelo} = 11.713 \approx 12$$

$$N_{batserie} = \frac{V_{sistDC}}{V_{nompanel}}$$

$$N_{batserie} = 1$$

$$Baterías_{totales} = N_{batparalelo} * N_{batserie}$$

$$Baterías_{totales} = 11.713 \approx 12$$

Cálculo del sistema de regulación

$$I_{regu} = 1.25 * I_{scpanel} * N_{ramasparalelo}$$

$$I_{regu} = 158.372 \text{ A}$$

$$N_{regparalelo} = \frac{I_{reg}}{I_{nomreg}}$$

$$N_{regparalelo} = 1.07 \approx 1$$

$$N_{regserie} = \frac{V_{sistDC}}{V_{nompanel}}$$

$$N_{regserie} = 1$$

A continuación, se realiza la tabulación de resultados considerando los cálculos efectuados para cada uno de los casos de estudio.

Tabla 2: Resultados de la Energía solar disponible y arreglos de paneles solares

Parámetro	METEONORM	NASA	NREL	PVGIS
E_{panel} [kWh/día]	1.873	1.583	1.943	1.954
$N_{ramasparalelo}$	9	11	9	9
$N_{modulosserie}$	1	1	1	1
$Paneles_{totales}$	9	11	9	9

De la Tabla 2 se puede observar que a partir de los datos de la base NASA se obtiene una menor energía solar disponible, además de incrementarse el número de ramas en paralelo, por ende, el número de paneles. Por otra parte, las bases de NREL y PVGIS presentan valores muy aproximados en cuanto a los resultados obtenidos.

Tabla 3: Resultados del dimensionamiento del sistema de acumulación

Parámetro	METEONORM	NASA	NREL	PVGIS
C_{sist_acum} [Ah]	1171	1171	1171	1171
$N_{batparalelo}$	12	12	12	12
$N_{batserie}$	1	1	1	1
$Baterías_{totales}$	12	12	12	12

En el caso del dimensionamiento del sistema de baterías, se puede observar que para todos los casos de estudio se requiere de las mismas características de almacenamiento.

Tabla 4: Resultados del dimensionamiento del sistema de regulación

Parámetro	METEONORM	NASA	NREL	PVGIS
I_{reg} [A]	158.372	187.413	152.693	151.786
$N_{regparalelo}$	1	1	1	1
$N_{regserie}$	1	1	1	1

Finalmente, en cuanto a la potencia del sistema de inversión, se obtuvo una potencia aparente de 1.47 kVA para todos los casos de estudio.

Tal como se mencionó en el apartado anterior, para cada una de las bases de datos se las consideró como un caso de estudio, en este sentido, en el presente apartado se hará un reporte de los

principales resultados obtenidos en la interfaz del software PVsyst de cada uno de los casos de estudio considerados.

Para cada uno de los casos de estudio se ha considerado la demanda energética mostrada en la Figura 9, la cual es resultado de los cálculos efectuados, resaltándose que se tiene un consumo promedio de 13.885 kWh por día.

	Nb.	Power	Use	Energy
		W	Hour/day	Wh/day
LAMPARAS	10	9/lamp	10.0	900
PC	1	125/app	8.0	1000
CALEFACTOR	1	2000/app	2.0	4000
NEVERA	1		24	1001
CAMARAS DE VIDEO	1		24	960
TOMACORRIENTES	5	300 tot	4.0	6000
Consumidores en espera			24.0	24
Total daily energy				13885

Figura 9: Detalle de cargas eléctricas de la instalación

Fuente: Propia

3.3.1. Caso de Estudio 1: Base de Datos METEONORM

Otro aspecto importante para la estimación energética es el de la irradiación solar, en este sentido en la Figura 10 se muestra el detalle de la irradiación sola mensual y condiciones meteorológicas.

	Irradiación horizontal global	Irradiación difusa horizontal	Temperatura	Velocidad del viento	Turbidez Linke	Humedad relativa
	kWh/m ² /día	kWh/m ² /día	°C	m/s	[-]	%
Enero	5.62	2.33	14.4	2.29	3.199	75.7
Febrero	4.90	2.55	14.3	2.30	3.383	77.3
Marzo	5.23	2.77	14.2	2.10	3.254	78.5
Abril	5.30	2.29	13.9	1.90	3.111	80.8
Mayo	5.46	2.39	14.3	2.19	3.010	76.4
Junio	5.59	1.92	14.0	2.60	2.904	72.0
Julio	5.78	2.14	14.2	3.00	2.956	66.2
Agosto	6.07	2.10	14.4	3.19	3.302	62.1
Septiembre	5.52	2.26	14.3	2.90	3.436	65.7
Octubre	4.96	2.54	14.4	2.30	3.384	72.7
Noviembre	4.84	2.40	14.0	2.10	3.347	76.0
Diciembre	5.23	2.14	14.2	2.20	3.331	76.8
Año	5.38	2.32	14.2	2.4	3.218	73.4
	Pegar	Pegar	Pegar	Pegar		

Irradiación horizontal global variabilidad año a año 6.8%

Figura 10: Características meteorológicas. Caso de estudio 1

Fuente: Propia

En la Figura 11 se muestra inicialmente los resultados generales obtenidos de la simulación, en donde se destaca que la energía solar útil anualmente es de 4841.57 kWh/año y la energía solar disponible es de 5691.62 kWh/año. Existe además un exceso de energía de 643.12 kWh/año en consideración a demanda de energía estimada. Un aspecto importante a resaltar es la existencia e una pérdida de energía que es de 226.38 kWh/año.

System Production			
Useful energy from solar	4841.57 kWh/year	Perf. Ratio PR	72.39 %
Available solar energy	5691.62 kWh/year	Solar Fraction SF	95.53 %
Excess (unused)	643.12 kWh/year		
Loss of Load		Battery aging (State of Wear)	
Time Fraction	7.0 %	Cycles SOW	95.6 %
Missing Energy	226.38 kWh/year	Static SOW	90.0 %
		Battery lifetime	10.0 years

Figura 11: Resultados generales. Caso de estudio 1

Fuente: Propia

En la Figura 12 se muestra la estimación de producción de energía normalizada, la misma que se desarrolla de forma mensual. Indicando que a partir del mes de mayo se produce un incremento en cuanto a la energía no suministrada, llegando a su valor pico en el mes de agosto y descendiendo de forma gradual hasta casi un valor nulo en diciembre. En el caso de la tasa de rendimiento de la Figura 13, se observa que durante los meses de mayo a agosto se presenta una reducción en cuanto a la tasa de rendimiento del sistema, lo cual se complementa con el resultado obtenido en cuanto a la energía suministrada. En el Anexo 1 se muestra un detalle más extenso de los resultados obtenidos.

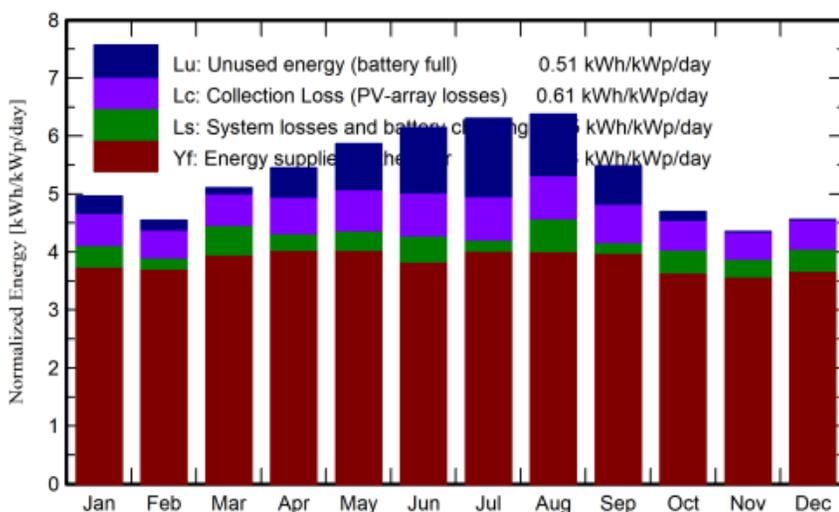


Figura 12: Producción de energía normalizada (por KWp instalado). Caso de estudio 1

Fuente: Propia

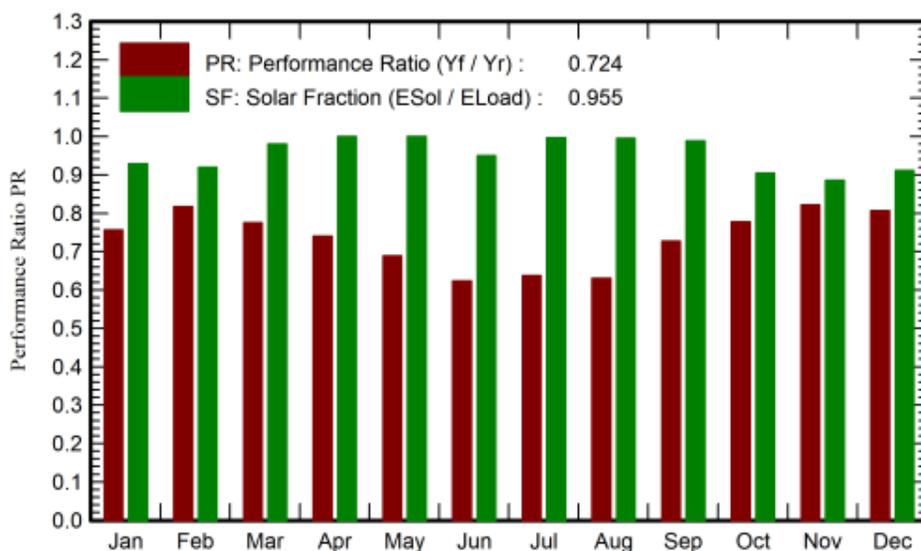


Figura 13: Tasa de rendimiento mensual. Caso de Estudio 1

Fuente: Propia

3.3.2. Caso de Estudio 2: Base de Datos NASA

Inicialmente, se considera la irradiación solar proporcionada por la base de datos del caso de estudio, la cual se detalla en la Figura 14, que muestra las características meteorológicas de forma mensual.

	Irradiación horizontal global kWh/m ² /día	Irradiación difusa horizontal kWh/m ² /día	Temperatura °C	Velocidad del viento m/s	Turbidez Linke [-]	Humedad relativa %
Enero	4.14	2.16	17.5	0.00	0.000	0.0
Febrero	4.35	2.27	17.6	0.00	0.000	0.0
Marzo	4.55	2.34	18.0	0.00	0.000	0.0
Abril	4.33	2.22	17.9	0.00	0.000	0.0
Mayo	4.12	2.05	17.8	0.00	0.000	0.0
Junio	4.02	1.94	17.3	0.00	0.000	0.0
Julio	4.27	1.98	17.5	0.00	0.000	0.0
Agosto	4.46	2.12	18.6	0.00	0.000	0.0
Septiembre	4.27	2.28	19.3	0.00	0.000	0.0
Octubre	4.24	2.26	19.3	0.00	0.000	0.0
Noviembre	4.30	2.18	18.3	0.00	0.000	0.0
Diciembre	3.98	2.11	17.6	0.00	0.000	0.0
Año	4.25	2.16	18.0	0.0	0.000	0.0

Figura 14: Características meteorológicas. Caso de estudio 2

Fuente: Propia

En el caso de esta base de datos, en cuanto a sus resultados (Figura 15), se puede observar una reducción en cuanto a la energía solar útil, con un valor de 4091.30 kWh/año y de la energía solar disponible con un valor de 4411.11 kWh/año. De igual manera en el caso de la energía en exceso, con un valor de 134.94 kWh/año y energía perdida de 976.65 kWh/año que es un valor significativamente alto en relación con el valor obtenido en el caso de estudio 1.

System Production			
Useful energy from solar	4091.30 kWh/year	Perf. Ratio PR	77.85 %
Available solar energy	4411.11 kWh/year	Solar Fraction SF	80.73 %
Excess (unused)	134.94 kWh/year		
Loss of Load		Battery aging (State of Wear)	
Time Fraction	25.8 %	Cycles SOW	96.7 %
Missing Energy	976.65 kWh/year	Static SOW	90.0 %
		Battery lifetime	10.0 years

Figura 15: Resultados generales. Caso de estudio 2
Fuente: Propia

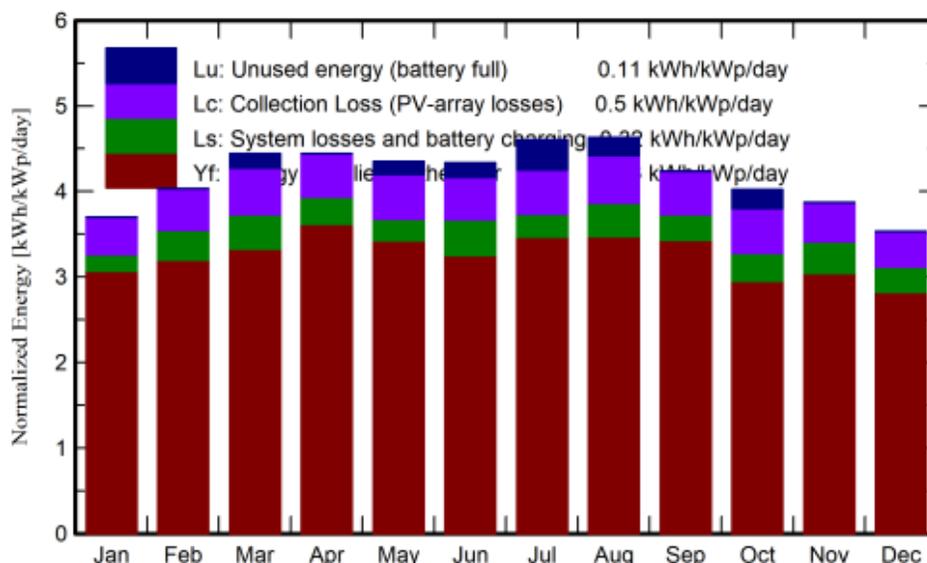


Figura 16: Producción de energía normalizada (por kWp instalado). Caso de estudio 2
Fuente: Propia

De la Figura 16, se puede denotar que el comportamiento es distinto al obtenido en el caso de estudio 1, que, para este caso, en los meses de julio y agosto se produce una variación significativa en cuanto a la energía no suministrada. Un valor adicional que sufre variación es el de las pérdidas, teniendo un incremento significativo durante la mayor parte del año.

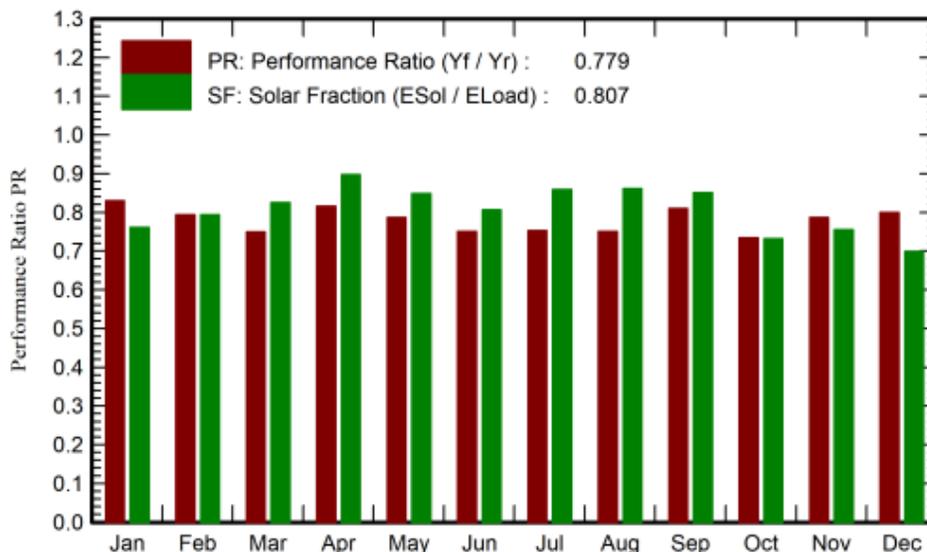


Figura 17: Tasa de rendimiento mensual. Caso de Estudio 2

Fuente: Propia

En cuanto a la tasa de rendimiento, se puede observar en la Figura 17 que su valor no sufre variaciones significativas, levemente en los meses de junio a agosto sufre una reducción por debajo del valor medio, que, a diferencia del caso de estudio 1, mantiene un comportamiento estable. En el Anexo 2 se muestra un detalle más extenso de los resultados obtenidos.

3.3.3. Caso de Estudio 3: Base de Datos NREL

Los datos meteorológicos disponibles en la base de datos de este caso de estudio se detallan en la Figura 18.

	Irradiación horizontal global kWh/m ² /día	Irradiación difusa horizontal kWh/m ² /día	Temperatura °C	Velocidad del viento m/s	Turbidez Linke [-]	Humedad relativa %
Enero	5.71	2.13	12.3	2.09	0.000	0.0
Febrero	5.46	2.55	12.2	1.86	0.000	0.0
Marzo	5.45	2.68	11.6	1.55	0.000	0.0
Abril	5.39	2.55	12.0	1.82	0.000	0.0
Mayo	5.36	2.28	11.8	1.32	0.000	0.0
Junio	5.42	1.85	11.2	1.25	0.000	0.0
Julio	5.81	2.05	10.8	1.14	0.000	0.0
Agosto	5.82	2.09	11.6	1.29	0.000	0.0
Septiembre	5.86	2.19	11.8	1.38	0.000	0.0
Octubre	5.99	2.49	11.9	1.59	0.000	0.0
Noviembre	5.61	2.41	12.1	1.80	0.000	0.0
Diciembre	5.66	2.09	11.7	1.85	0.000	0.0
Año	5.63	2.28	11.7	1.6	0.000	0.0

Figura 18: Características meteorológicas. Caso de estudio 3

Fuente: Propia

En los resultados de este caso de estudio (Figura 19) se puede observar que existe un incremento en cuanto a la energía solar útil con un valor de 5022.70 kWh/año y de 6005.99 kWh/h, lo cual supera a lo obtenido en los casos de estudio 1 y 2.

System Production			
Useful energy from solar	5022.70 kWh/year	Perf. Ratio PR	72.26 %
Available solar energy	6005.99 kWh/year	Solar Fraction SF	99.11 %
Excess (unused)	763.18 kWh/year		
Loss of Load		Battery aging (State of Wear)	
Time Fraction	1.3 %	Cycles SOW	94.6 %
Missing Energy	45.26 kWh/year	Static SOW	90.0 %
		Battery lifetime	10.0 years

Figura 19: Resultados generales. Caso de estudio 3

Fuente: Propia

Otro aspecto por resaltar es del incremento de la energía en exceso con un valor de 763.18 kWh/h, lo cual es superior a lo obtenido en los casos de estudio 1 y 2. En cuanto a la energía perdida, se tiene una reducción muy significativa, con un valor de 45.26 kWh/año, lo cual es muy inferior a lo obtenido en los casos de estudio 1 y 2. En el Anexo 3 se muestra un detalle más extenso de los resultados obtenidos.

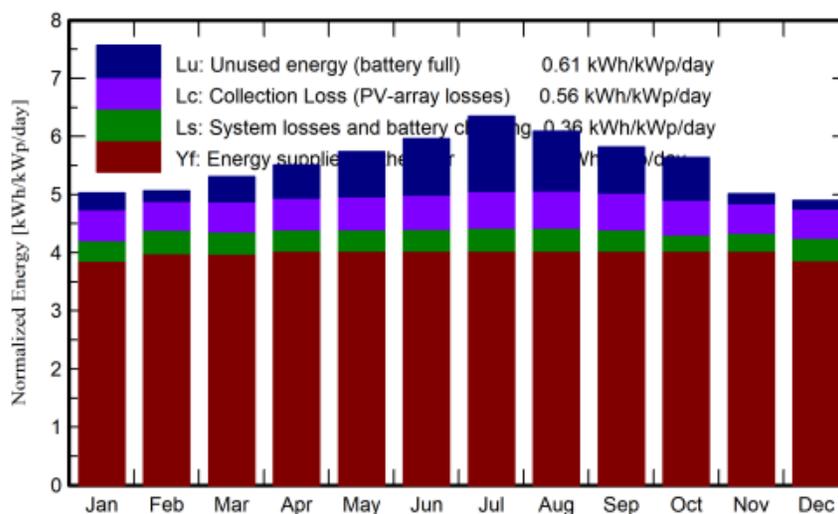


Figura 20: Producción de energía normalizada (por kWp instalado). Caso de estudio 3

Fuente: Propia

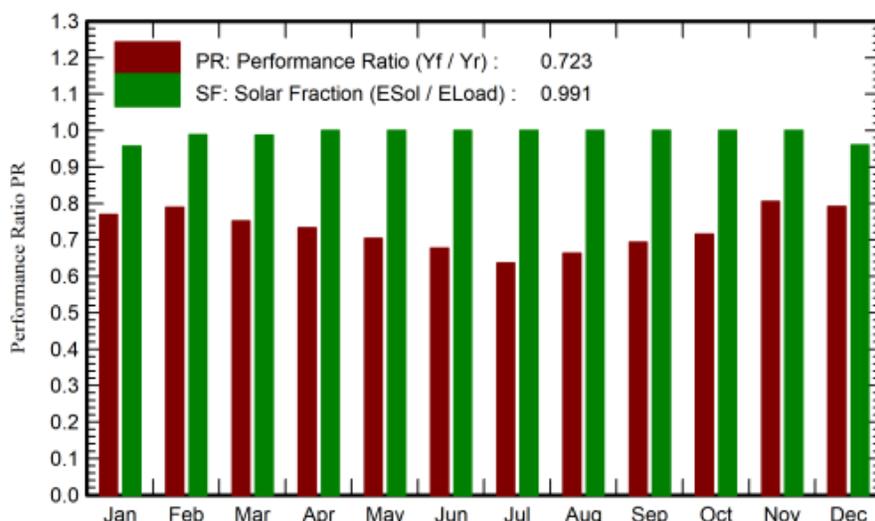


Figura 21: Tasa de rendimiento mensual. Caso de Estudio 3

Fuente: Propia

En relación con la energía producida (Figura 20), se puede observar que entre los meses de junio a septiembre se tiene un incremento de la energía no suministrada, que, además, en promedio, tiene valores por encima de los resultados obtenidos en los casos de estudio 1 y 2. Por otra parte, para el caso de la tasa de rendimiento (Figura 21), se tiene que durante los meses de junio a agosto se tiene los valores que se encuentran por debajo del valor medio.

3.3.4. Caso de Estudio 4: Base de Datos PVGIS

Las características meteorológicas de la base de datos del caso de estudio se detallan en la Figura 22.

	Irradiación horizontal global kWh/m ² /día	Irradiación difusa horizontal kWh/m ² /día	Temperatura °C	Velocidad del viento m/s	Turbidez Linke [-]	Humedad relativa %
Enero	5.89	2.07	10.6	1.03	0.000	87.2
Febrero	5.37	2.80	10.3	0.94	0.000	89.7
Marzo	5.36	2.88	10.7	0.95	0.000	89.5
Abril	5.07	2.49	10.4	0.98	0.000	88.3
Mayo	5.10	2.28	11.0	0.94	0.000	81.9
Junio	5.47	1.78	10.5	1.00	0.000	82.2
Julio	5.84	1.81	11.1	0.86	0.000	71.4
Agosto	5.24	2.22	11.4	0.97	0.000	77.3
Septiembre	5.74	2.27	10.9	0.98	0.000	78.8
Octubre	5.60	2.38	10.3	1.00	0.000	88.7
Noviembre	6.02	2.17	11.3	1.03	0.000	87.5
Diciembre	5.77	2.08	10.8	1.00	0.000	85.5
Año	5.54	2.26	10.8	1.0	0.000	84.0

Figura 22: Características meteorológicas. Caso de estudio 4

Fuente: Propia

Para este caso de estudio, tal como se observa en la Figura 23, se tiene una mínima variación en cuanto a los resultados obtenidos con relación al caso de estudio 3, de tal manera que se tiene energía solar útil con un valor de 5053.36 kWh/año y de energía solar disponible de 5958.30 kWh/año. En relación con la energía en exceso se tiene una reducción con un valor de 681.08 kWh/año, en cuanto a la energía perdida, se tiene una mayor reducción en relación con todos los casos analizados, con un valor de 14.59 kWh/año. En el Anexo 3 se muestra un detalle más extenso de los resultados obtenidos.

System Production			
Useful energy from solar	5053.36 kWh/year	Perf. Ratio PR	74.06 %
Available solar energy	5958.30 kWh/year	Solar Fraction SF	99.71 %
Excess (unused)	681.08 kWh/year		
Loss of Load		Battery aging (State of Wear)	
Time Fraction	0.6 %	Cycles SOW	95.1 %
Missing Energy	14.59 kWh/year	Static SOW	90.0 %

Figura 23: Resultados generales. Caso de estudio 4

Fuente: Propia

La producción de energía tiene un comportamiento similar al obtenido en el caso de estudio 3, lo cual se puede observar en la Figura 24, pero que, a diferencia del caso indicado, en este caso los valores más altos de energía no suministrada se dan en los meses de junio y julio. Además, en cuanto a las tasas de rendimiento (Figura 25), se produce una reducción por debajo del valor medio en los meses de junio y julio.

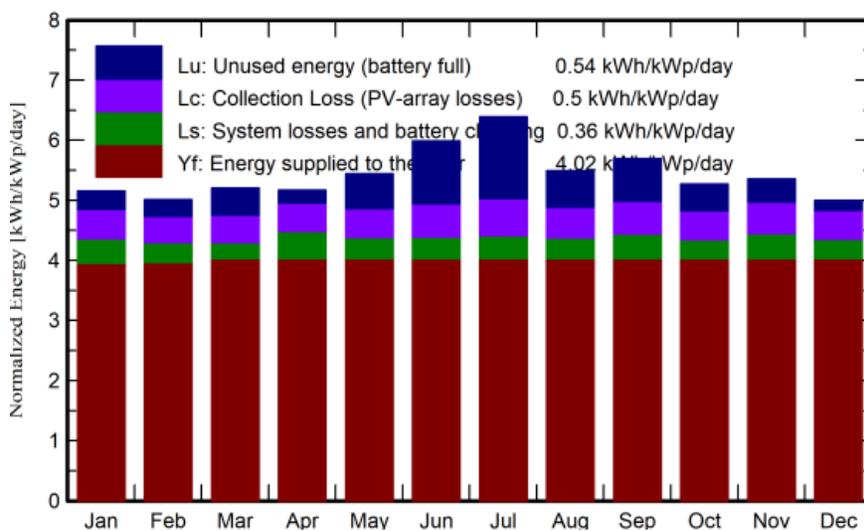


Figura 24: Producción de energía normalizada (por kWp instalado). Caso de estudio 4

Fuente: Propia

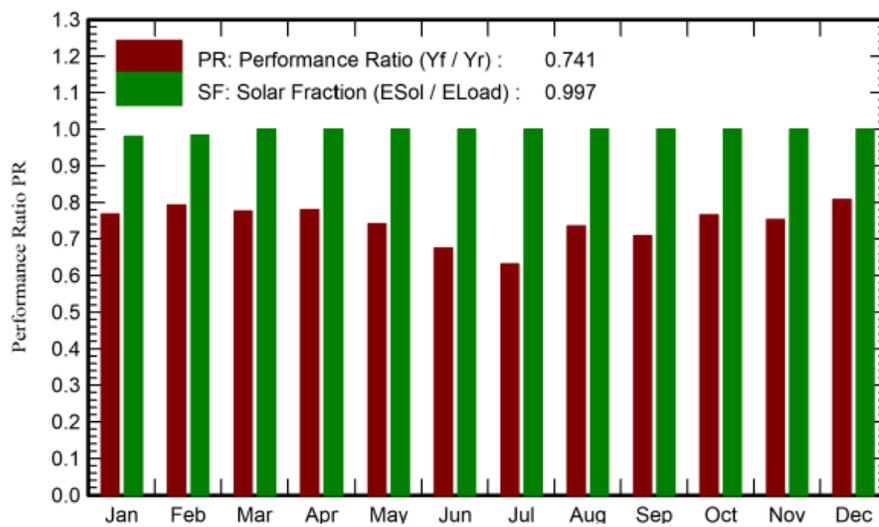


Figura 25: Tasa de rendimiento mensual. Caso de Estudio 4

Fuente: Propia

Conclusiones

Se ha realizado el diseño de un sistema fotovoltaico autónomo a través de cálculos y simulaciones empleando el software PVsyst, de tal manera que se logró estimar el potencial energético del sistema diseñado considerando una demanda de energía de las instalaciones eléctricas de KGConstructora.

Basado en el estado del arte y de la respectiva revisión bibliográfica, se ha observado que, en varios trabajos relacionados con la estimación energética, diseño e implementación de sistemas fotovoltaicos para edificaciones se los realiza a través del software PVsyst obteniendo resultados aceptables, lo cual hace que la metodología empleada tenga un sustento metodológico probado en la literatura.

Bajo la revisión bibliográfica efectuada y del conocimiento a fondo de las principales características del software PVsyst, se procedió a realizar la modelación y parametrización del sistema fotovoltaico, para lo cual se consideró como datos relevantes a información meteorológica de las bases de datos consideradas, las cuales fueron: METEONORM, NASA, NREL y PVGIS.

A partir del óptimo diseño mediante el desarrollo de cálculos matemáticos y del uso de simulaciones del sistema fotovoltaico se ha logrado obtener como resultado la reducción del consumo de energía proveniente de la red, lo cual se pudo verificar a partir del manejo de diferentes bases de datos.

Entre los resultados obtenidos, las bases de datos más relevantes frente a la optimización del sistema fotovoltaico son NREL y PVGS.

La información contenida dentro de las bases de datos influye en cuanto a la precisión de la estimación de energía solar, además en parámetros tales como de la energía no suministrada, exceso de energía y de la estimación de las pérdidas.

Al realizar la integración de diferentes bases de datos para el diseño de sistemas fotovoltaicos se ha logrado la optimización dentro de los procesos de selección de componentes, configuración del sistema, y arrojando como resultado un diseño de sistema fotovoltaico eficiente.

Entre los resultados relevantes se puede observar que existen meses en los cuales se produce una alta tasa de energía no suministrada, de forma que son los meses en los cuales se aprovecha esa energía en el proceso de almacenamiento de energía a través del sistema de baterías.

En relación con las tasas de rendimiento de los sistemas fotovoltaicos, cada uno de ellos mantuvo un comportamiento estable con valores entre 0.72 a 0.77, teniendo meses en los cuales se incurre en una reducción significativa por debajo de estos valores medios.

Los casos de estudio 3 y 4 son los que mejores resultados arrojaron en cuanto a la disponibilidad de energía solar, de tal manera que está relacionado con la información de irradiación disponible. Sus valores son cercanos, lo cual ayuda a tener una mejor visión frente a una selección correcta de la base de datos frente al diseño de este tipo de sistemas, además, un aspecto importante a resaltar es que con el uso de estas bases de datos se obtuvo los valores más bajos en cuanto a las pérdidas de energía.

Recomendaciones

Se recomienda disponer de la información más importante en cuanto al uso del software de simulación a utilizar, de tal manera que se pueda aprovechar al máximo las facilidades y características que el fabricante dispone.

Es recomendable acceder a bases de datos que sean de libre acceso, dado que existen bases que son de acceso limitado o de pago, los cuales limitan el acceso a la información necesaria y no permite un adecuado desarrollo del trabajo de investigación.

Es importante disponer de una base de datos histórico de datos meteorológicos consolidada, de tal manera que permita realizar un análisis aproximado del comportamiento y estimación energético a lo largo de una determinada ventana de tiempo, que como se observó en el presente estudio, se lo puede hacer de forma mensual a lo largo de un año.

Referencias

- Ahmad, M., & Ahmad, A. U. (2019). Design of Solar PV system and Solar Potential Assessment Using PVSYST Software. *Journal of Emerging Technologies and Innovative Research (JETIR)*, 6(5), 270-276.
- Altas, I., & Sharaf, A. (2014). Solar Energy and PV Systems. *International Journal of Photoenergy*.
- Ashok, S. (29 de julio de 2024). *solar energy*. Obtenido de Britannica: <https://www.britannica.com/science/solar-energy>
- Asumadu-Sarkodie, P. A. (2016). A review of renewable energy sources, sustainability issues and climate change mitigation. *Cogent Engineering*, 3(1).
- AutoSolar. (2024). *Configuración de paneles solares*. Obtenido de AutoSolar: <https://autosolar.pe/aspectos-tecnicos/configuracion-de-paneles-solares>
- Baqir, M., & Kaur Channi, H. (2022). Analysis and design of solar PV system using Pvsyst software. *materials today Proceedings*, 48(5), 1332-1338. doi:<https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.09.029>
- Bawazir, R. O. (2020). Comprehensive overview of optimizing PV-DG allocation in power system and solar energy resource potential assessments. *Energy Reports*, 6, 173–208. doi:[10.1016/j.egy.2019.12.010](https://doi.org/10.1016/j.egy.2019.12.010)
- Bueno Díaz, M. V. (2021). Las TIC como mediadoras didácticas en los procesos de enseñanza aprendizaje del área de matemáticas en la básica primaria de la Institución Educativa la Laguna del Municipio de los Santos.
- Cedeño Romero, E. L. (2019). Entornos virtuales de aprendizaje y su rol innovador en el proceso de enseñanza. *Revista de Ciencias Humanísticas y Sociales*, 138-148.
- Delgado, R. Z. (2019). El m-learning, las ventajas de la utilización de dispositivos móviles en el proceso autónomo de aprendizaje. *Revista de Ciencias Humanísticas y Sociales*, 29-38.

- Díaz granados, F. I. (2006). . Incorporación de TICs en las actividades cotidianas del aula: una experiencia en escuela de provincia. *Zona próxima*, 62-85.
- European Commission. (2024). *Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS)*. Obtenido de EU Science Hub: https://joint-research-centre.ec.europa.eu/photovoltaic-geographical-information-system-pvgis_en
- Gonzalez-Longatt, F., & Fortoul, C. (2005). Review of the Distributed Generation Concept: Attempt of Unification. *RE&PQJ*, 1(3), 281-284. doi:<https://doi.org/10.24084/repqj03.275>
- Granda Asencio, L. Y. (2019). Las TICs como herramientas didácticas del proceso de enseñanza-aprendizaje. *Conrado*, 104-110.
- Guamán Gómez, V. J. (2019). El aprendizaje significativo desde el contexto de la planificación didáctica. *Conrado*, 218-223.
- Guamán Gómez, V. J.-2. (Guamán Gómez, V. J., & Venet Muñoz, R. (2019). El aprendizaje significativo desde el contexto de la planificación didáctica. *Conrado*, 15(69), 218-223.).
 Guamán Gómez, V. J., & Venet Muñoz, R. (2019). El aprendizaje significativo desde el contexto de la planificación didáctica. *Conrado*, 15(69), 218-223. *Guamán Gómez, V. J., & Venet Muñoz, R. (2019). El aprendizaje significativo desde el contexto de la planificación didáctica. Conrado*, 15(69), 218-223., 218-223.
- Hidalgo, M. I.-m.-1. (2018). Estrategias metodológicas para el desarrollo del pensamiento lógico-matemático. En D. lia, *Didáctica y Educación*, 9(1), 125-132. Didasc@ lia.
- Husain, A. A., Hasan, W. Z., Shafie, S., Hamidon, M. N., & Pandey, S. S. (2018). A review of transparent solar photovoltaic technologies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 94, 779–791. doi:<https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.06.031>
- Kazem, H. A., Chaichan, M. T., Al-Waeli, A. H., & Gholami, A. (2022). A systematic review of solar photovoltaic energy systems design modelling, algorithms, and software. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, 44(3), 6709-6736.

- Kumar, R., Rajoria, C. S., Sharma, A., & Suhag, S. (2020). Design and simulation of standalone solar PV system using PVsystSoftware: A case study. *Materials Today: Proceedings*. doi:10.1016/j.matpr.2020.08.785
- López, D. C. (2020). Las TIC en los procesos de enseñanza-aprendizaje desarrollados por maestros tutores de Educación Primaria en la Región de Murcia. *RIITE Revista Interuniversitaria de Investigación en Tecnología Educativa*.
- Mendoza, L. R. (2020). TIC y neuroeducación como recurso de innovación en el proceso de enseñanza y aprendizaje. . *Revista de Ciencias Humanísticas y Sociales*, 85-96.
- Meteotest. (2024). *Meteonorm Software*. Obtenido de Meteonorm: <https://meteonorm.com/en/meteonorm-documents>
- Mishra, P. R., Rathore, S., & Jain, V. (2024). PVSyst enabled real time evaluation of grid connected solar photovoltaic system. *International Journal of Information Technology*, 16, 745-752. doi:<https://doi.org/10.1007/s41870-023-01677-x>
- NREL. (2024). *Weather Data*. Obtenido de System Advisor Model (SAM): <https://sam.nrel.gov/weather-data.html>
- Office of Energy Efficiency and Renewable Energy. (2022). *Modeling of Photovoltaic Systems: Basic Challenges and DOE-Funded Tools*. U.S. Department of Energy.
- Panwar, N., & Kaushik, S. a. (2011). Role of renewable energy sources in environmental protection: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15, 1513–1524. doi:10.1016/j.rser.2010.11.037
- Pila Moreno, L. L. (2016). Estrategias metodológicas y desarrollo del pensamiento lógico matemático de los niños del 2do año de educación básica paralelo “a”, de la unidad educativa Isabel de Godin “escuela Simón Bolívar” de la parroquia Veloz,ciudad Riobamba,provincia Chimborazo. *Bachelor's thesis, Riobamba, UNACH 2016*.
- R., R., D., K., & M., B. (2015). Selected problems of classification of energy sources –What are renewable energy sources? *Acta Montan Slovaca*, 20(3), 172-180.

- Ruiz-Romero, S., Colmenar-Santos, A., & Mur-Pérez, F. a.-R. (2014). Integration of distributed generation in the power distribution network: The need for smart grid control systems, communication and equipment for a smart city - Use cases. *Renew. Sustain. Energy Rev.*, 38, 223–234. doi:10.1016/j.rser.2014.05.082
- Sahu, G., & Raheman, H. (2020). Development of a Renewable Energy Operated Paddy Thresher. *Journal of The Institution of Engineers (India): Series A*, 101(4), 657–668. doi:https://doi.org/10.1007/s40030-020-00458-0
- Shaikh, M. R., Waghmare, S., Labade, S., & Tekale, A. (2017). A Review Paper on Electricity Generation from Solar Energy. *International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology*. doi:10.22214/ijraset.2017.9272
- Sharma, S., & Kurian, C. P. (2018). Solar PV System Design Using PVsyst: A Case Study of an Academic Institute. *2018 International Conference on Control, Power, Communication and Computing Technologies (ICCPCT)*, 123-128. doi:10.1109/ICCPCT.2018.8574334
- Ulinuha, A., Asy'ary, H., Hasan, U., & Saputro, B. A. (2024). The Application of PVSyst for Design of Solar Photovoltaic Power Generation at School Building. *The 1st International Conference on Environment, Green Technology, and Digital Society (INTERCONNECTS 2023)*, 500.

Anexos

ANEXO I

REPORTE DE RESULTADOS CASO DE ESTUDIO 1

General parameters			
Standalone system		Standalone system with batteries	
PV Field Orientation		Sheds configuration	
Orientation		No 3D scene defined	
Fixed plane			
Tilt/Azimuth	15 / 0 °		
User's needs		Models used	
Daily household consumers		Transposition Perez	
Constant over the year		Diffuse Perez, Meteonom	
Average		Circumsolar separate	
13.9 kWh/Day			

PV Array Characteristics			
PV module		Battery	
Manufacturer	Jinkosolar	Manufacturer	Victron Energy
Model	JKM-430N-54HL4	Model	LFP-CB 12.8V / 200Ah
(Original PVsyst database)		Technology	Lithium-ion, LFP
Unit Nom. Power	430 Wp	Nb. of units	6 in parallel x 2 in series
Number of PV modules	8 units	Discharging min. SOC	10.0 %
Nominal (STC)	3440 Wp	Stored energy	27.3 kWh
Modules	2 Strings x 4 In series	Battery Pack Characteristics	
At operating cond. (50°C)		Voltage	26 V
Pmpp	3181 Wp	Nominal Capacity	1212 Ah (C10)
U mpp	117 V	Temperature	Fixed 20 °C
I mpp	27 A	Battery Management control	
Controller		Threshold commands as	SOC calculation
Universal controller		Charging	SOC = 0.96 / 0.80
Technology	MPPT converter	Discharging	SOC = 0.10 / 0.35
Temp coeff.	-5.0 mV/°C/Elem.		
Converter			
Maxi and EURO efficiencies	97.0 / 95.0 %		
Total PV power			
Nominal (STC)	3.44 kWp		
Total	8 modules		
Module area	15.6 m ²		

Array losses								
Thermal Loss factor			DC wiring losses			Serie Diode Loss		
Module temperature according to irradiance			Global array res. 71 mΩ			Voltage drop 0.7 V		
Uc (const)	20.0 W/m ² K		Loss Fraction 1.5 % at STC			Loss Fraction 0.5 % at STC		
Uv (wind)	0.0 W/m ² K/m/s							
Module Quality Loss			Module mismatch losses			Strings Mismatch loss		
Loss Fraction -0.8 %			Loss Fraction 2.0 % at MPP			Loss Fraction 0.2 %		
IAM loss factor								
Incidence effect (IAM): Fresnel, AR coating, n(glass)=1.526, n(AR)=1.290								
0°	30°	50°	60°	70°	75°	80°	85°	90°
1.000	0.999	0.987	0.962	0.892	0.816	0.681	0.440	0.000

Main results

System Production

Useful energy from solar 4841.57 kWh/year
 Available solar energy 5691.62 kWh/year
 Excess (unused) 643.12 kWh/year

Perf. Ratio PR 72.39 %
 Solar Fraction SF 95.53 %

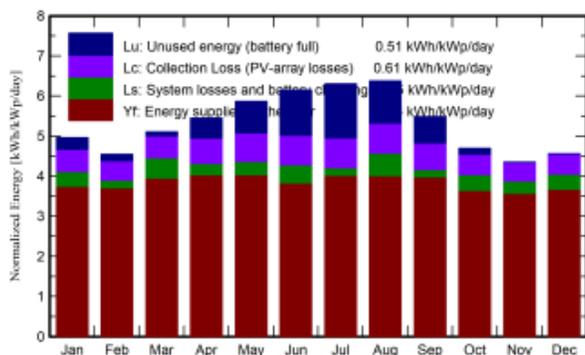
Loss of Load

Time Fraction 7.0 %
 Missing Energy 226.38 kWh/year

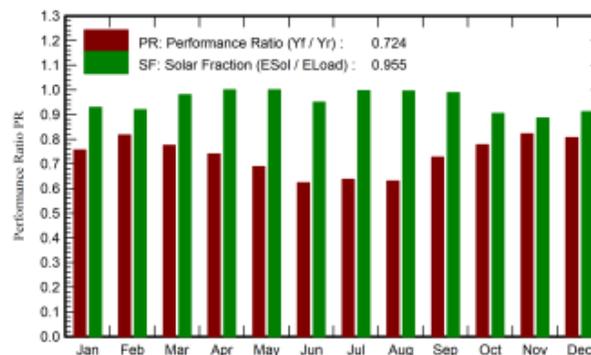
Battery aging (State of Wear)

Cycles SOW 95.6 %
 Static SOW 90.0 %
 Battery lifetime 10.0 years

Normalized productions (per installed kWp)



Performance Ratio PR



Balances and main results

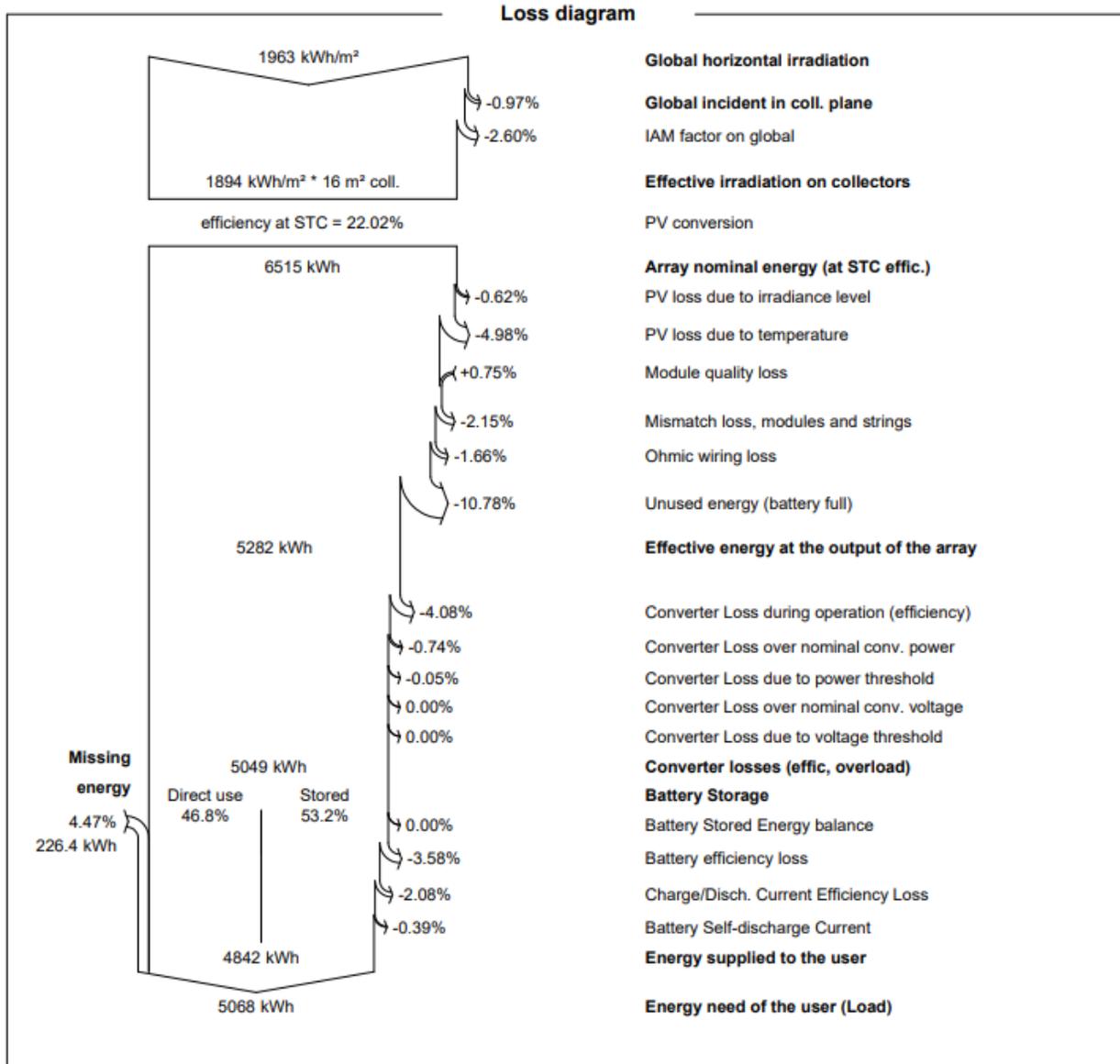
	GlobHor	GlobEff	E_Avail	EUnused	E_Miss	E_User	E_Load	SolFrac
	kWh/m ²	kWh/m ²	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	ratio
January	174.2	148.2	451.2	30.5	30.51	399.9	430.4	0.929
February	137.1	123.3	374.5	14.9	31.13	357.6	388.8	0.920
March	162.2	154.0	466.7	10.1	8.28	422.1	430.4	0.981
April	159.1	159.8	477.6	51.4	0.00	416.5	416.5	1.000
May	169.4	178.0	528.8	83.1	0.00	430.4	430.4	1.000
June	167.6	181.0	538.7	115.2	20.86	395.7	416.5	0.950
July	179.1	191.6	574.5	143.7	1.61	428.8	430.4	0.996
August	188.2	193.8	580.8	112.4	1.92	428.5	430.4	0.996
September	165.5	160.5	478.4	67.0	5.03	411.5	416.5	0.988
October	153.8	141.2	426.0	14.8	41.10	389.3	430.4	0.905
November	145.1	126.1	381.7	0.0	47.55	369.0	416.5	0.886
December	162.1	136.2	412.6	0.0	38.38	392.1	430.4	0.911
Year	1963.4	1893.7	5691.6	643.1	226.38	4841.6	5068.0	0.955

Legends

GlobHor Global horizontal irradiation
 GlobEff Effective Global, corr. for IAM and shadings
 E_Avail Available Solar Energy
 EUnused Unused energy (battery full)
 E_Miss Missing energy

E_User Energy supplied to the user
 E_Load Energy need of the user (Load)
 SolFrac Solar fraction (EUsed / ELoad)

Diagrama de Pérdidas



ANEXO II

REPORTE DE RESULTADOS CASO DE ESTUDIO 2

General parameters

Standalone system		Standalone system with batteries	
PV Field Orientation			
Orientation			
Fixed plane		Sheds configuration	Models used
Tilt/Azimuth	15 / 0 °	No 3D scene defined	Transposition Perez Diffuse Perez, Meteonom Circumsolar separate
User's needs			
Daily household consumers			
Constant over the year			
Average	13.9 kWh/Day		

PV Array Characteristics

PV module		Battery	
Manufacturer	Jinkosolar	Manufacturer	Victron Energy
Model	JKM-430N-54HL4	Model	LFP-CB 12.8V / 200Ah
(Original PVsyst database)		Technology	Lithium-ion, LFP
Unit Nom. Power	430 Wp	Nb. of units	6 in parallel x 2 in series
Number of PV modules	8 units	Discharging min. SOC	10.0 %
Nominal (STC)	3440 Wp	Stored energy	27.3 kWh
Modules	2 Strings x 4 In series	Battery Pack Characteristics	
At operating cond. (50°C)		Voltage	26 V
Pmpp	3181 Wp	Nominal Capacity	1212 Ah (C10)
U mpp	117 V	Temperature	Fixed 20 °C
I mpp	27 A	Battery Management control	
Controller		Threshold commands as	SOC calculation
Universal controller		Charging	SOC = 0.96 / 0.80
Technology	MPPT converter	Discharging	SOC = 0.10 / 0.35
Temp coeff.	-5.0 mV/°C/Elem.		
Converter			
Maxi and EURO efficiencies	97.0 / 95.0 %		
Total PV power			
Nominal (STC)	3.44 kWp		
Total	8 modules		
Module area	15.6 m ²		

Array losses

Thermal Loss factor		DC wiring losses		Series Diode Loss				
Module temperature according to irradiance		Global array res.	71 mΩ	Voltage drop	0.7 V			
Uc (const)	20.0 W/m ² K	Loss Fraction	1.5 % at STC	Loss Fraction	0.5 % at STC			
Uv (wind)	0.0 W/m ² K/m/s							
Module Quality Loss		Module mismatch losses		Strings Mismatch loss				
Loss Fraction	-0.8 %	Loss Fraction	2.0 % at MPP	Loss Fraction	0.2 %			
IAM loss factor								
Incidence effect (IAM): Fresnel, AR coating, n(glass)=1.526, n(AR)=1.290								
0°	30°	50°	60°	70°	75°	80°	85°	90°
1.000	0.999	0.987	0.962	0.892	0.816	0.681	0.440	0.000

Main results

System Production

Useful energy from solar 4091.30 kWh/year
 Available solar energy 4411.11 kWh/year
 Excess (unused) 134.94 kWh/year

Perf. Ratio PR 77.85 %
 Solar Fraction SF 80.73 %

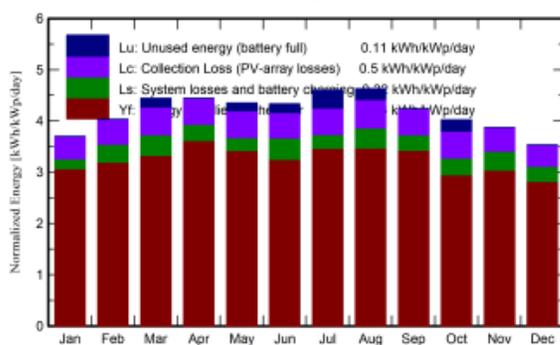
Loss of Load

Time Fraction 25.8 %
 Missing Energy 976.65 kWh/year

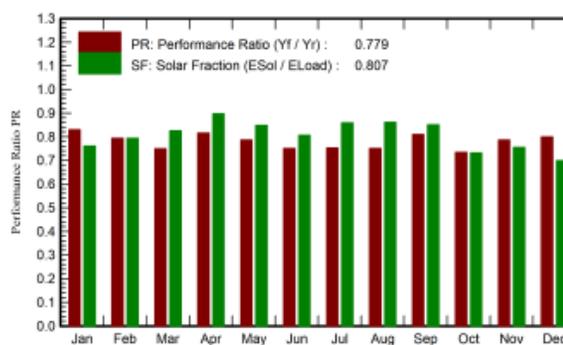
Battery aging (State of Wear)

Cycles SOW 96.7 %
 Static SOW 90.0 %
 Battery lifetime 10.0 years

Normalized productions (per installed kWp)



Performance Ratio PR



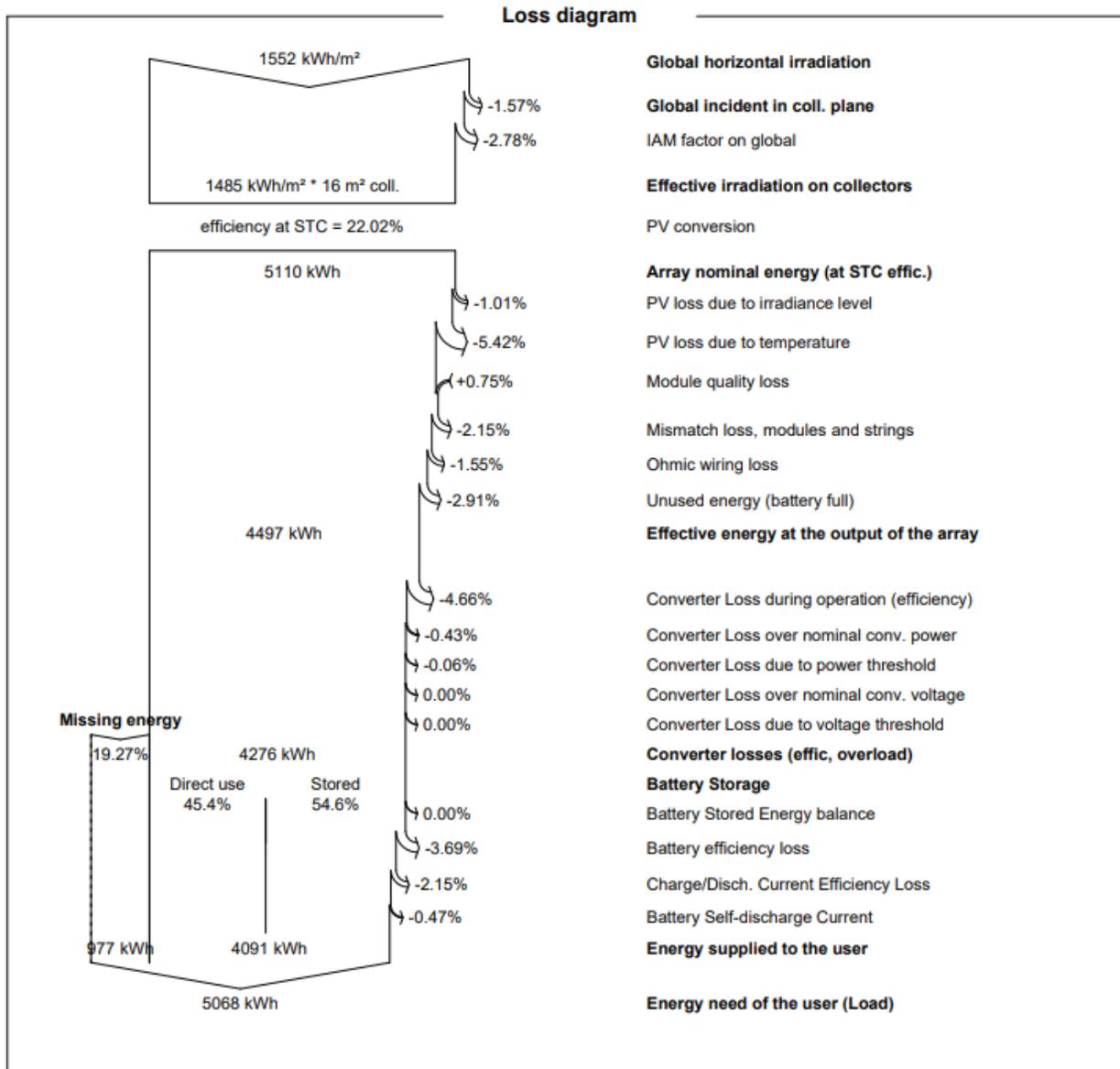
Balances and main results

	GlobHor kWh/m ²	GlobEff kWh/m ²	E_Avail kWh	EUnused kWh	E_Miss kWh	E_User kWh	E_Load kWh	SolFrac ratio
January	128.3	110.3	330.5	0.00	102.8	327.6	430.4	0.761
February	121.8	109.3	325.1	0.00	80.4	308.4	388.8	0.793
March	141.0	134.0	397.3	17.82	75.4	355.0	430.4	0.825
April	129.9	130.0	387.8	0.00	42.8	373.8	416.5	0.897
May	127.7	131.9	389.1	16.35	65.1	365.3	430.4	0.849
June	120.6	127.3	377.9	17.37	80.6	335.9	416.5	0.806
July	132.4	139.6	418.0	37.48	60.5	369.9	430.4	0.859
August	138.3	140.1	415.4	22.23	59.6	370.8	430.4	0.861
September	128.1	123.9	366.7	0.00	62.1	354.4	416.5	0.851
October	131.4	121.1	354.7	23.68	115.7	314.8	430.4	0.731
November	129.0	112.2	334.0	0.00	102.2	314.3	416.5	0.755
December	123.4	105.5	314.5	0.01	129.4	301.0	430.4	0.699
Year	1552.0	1485.2	4411.1	134.94	976.7	4091.3	5068.0	0.807

Legends

GlobHor Global horizontal irradiation
 GlobEff Effective Global, corr. for IAM and shadings
 E_Avail Available Solar Energy
 EUnused Unused energy (battery full)
 E_Miss Missing energy
 E_User Energy supplied to the user
 E_Load Energy need of the user (Load)
 SolFrac Solar fraction (EUsed / ELoad)

Diagrama de pérdidas



ANEXO III

REPORTE DE RESULTADOS CASO DE ESTUDIO 3

General parameters			
Standalone system		Standalone system with batteries	
PV Field Orientation		Sheds configuration	
Orientation		Models used	
Fixed plane		Transposition	Perez
Tilt/Azimuth	15 / 0 °	Diffuse	Imported
		Circumsolar	separate
User's needs			
Daily household consumers			
Constant over the year			
Average	13.9 kWh/Day		

PV Array Characteristics			
PV module		Battery	
Manufacturer	Jinkosolar	Manufacturer	Victron Energy
Model	JKM-430N-54HL4	Model	LFP-CB 12.8V / 200Ah
(Original PVsyst database)		Technology	Lithium-ion, LFP
Unit Nom. Power	430 Wp	Nb. of units	6 in parallel x 2 in series
Number of PV modules	8 units	Discharging min. SOC	10.0 %
Nominal (STC)	3440 Wp	Stored energy	27.3 kWh
Modules	2 Strings x 4 In series	Battery Pack Characteristics	
At operating cond. (50°C)		Voltage	26 V
Pmpp	3181 Wp	Nominal Capacity	1212 Ah (C10)
U mpp	117 V	Temperature	Fixed 20 °C
I mpp	27 A	Battery Management control	
Controller		Threshold commands as	SOC calculation
Universal controller		Charging	SOC = 0.96 / 0.80
Technology	MPPT converter	Discharging	SOC = 0.10 / 0.35
Temp coeff.	-5.0 mV/°C/Elem.		
Converter			
Maxi and EURO efficiencies	97.0 / 95.0 %		
Total PV power			
Nominal (STC)	3.44 kWp		
Total	8 modules		
Module area	15.6 m ²		

Array losses								
Thermal Loss factor			DC wiring losses			Serie Diode Loss		
Module temperature according to irradiance			Global array res. 71 mΩ			Voltage drop 0.7 V		
Uc (const)	20.0 W/m ² K		Loss Fraction 1.5 % at STC			Loss Fraction 0.5 % at STC		
Uv (wind)	0.0 W/m ² K/m/s							
Module Quality Loss			Module mismatch losses			Strings Mismatch loss		
Loss Fraction -0.8 %			Loss Fraction 2.0 % at MPP			Loss Fraction 0.2 %		
IAM loss factor								
Incidence effect (IAM): Fresnel, AR coating, n(glass)=1.526, n(AR)=1.290								
0°	30°	50°	60°	70°	75°	80°	85°	90°
1.000	0.999	0.987	0.962	0.892	0.816	0.681	0.440	0.000

Main results

System Production

Useful energy from solar	5022.70 kWh/year
Available solar energy	6005.99 kWh/year
Excess (unused)	763.18 kWh/year

Perf. Ratio PR	72.26 %
Solar Fraction SF	99.11 %

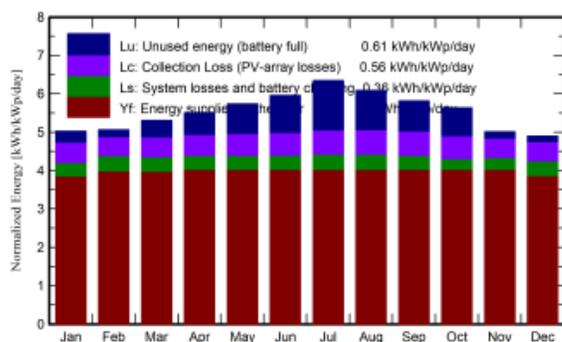
Loss of Load

Time Fraction	1.3 %
Missing Energy	45.26 kWh/year

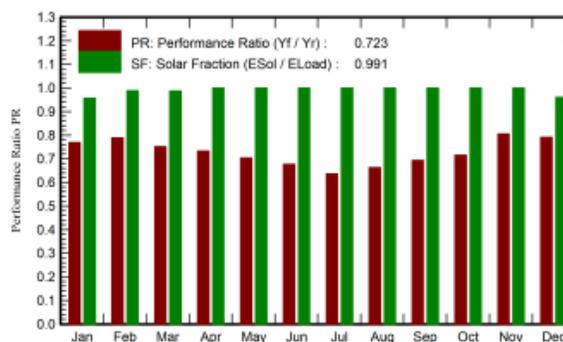
Battery aging (State of Wear)

Cycles SOW	94.6 %
Static SOW	90.0 %
Battery lifetime	10.0 years

Normalized productions (per installed kWp)



Performance Ratio PR



Balances and main results

	GlobHor	GlobEff	E_Avail	EUnused	E_Miss	E_User	E_Load	SolFrac
	kWh/m ²	kWh/m ²	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	ratio
January	176.9	150.4	459.9	29.7	18.32	412.1	430.4	0.957
February	152.9	137.6	421.4	16.3	4.38	384.4	388.8	0.989
March	169.1	160.1	491.4	45.3	5.34	425.1	430.4	0.988
April	161.6	161.3	492.4	57.9	0.00	416.5	416.5	1.000
May	166.3	173.7	530.7	81.2	0.00	430.4	430.4	1.000
June	162.6	175.0	534.0	98.8	0.00	416.5	416.5	1.000
July	180.0	192.5	588.9	136.3	0.00	430.4	430.4	1.000
August	180.3	184.7	560.4	108.3	0.00	430.4	430.4	1.000
September	175.9	170.0	515.8	80.8	0.00	416.5	416.5	1.000
October	185.6	169.6	518.3	77.7	0.00	430.4	430.4	1.000
November	168.3	145.4	445.0	16.7	0.00	416.5	416.5	1.000
December	175.5	146.2	447.7	14.2	17.20	413.2	430.4	0.960
Year	2055.1	1966.4	6006.0	763.2	45.26	5022.7	5068.0	0.991

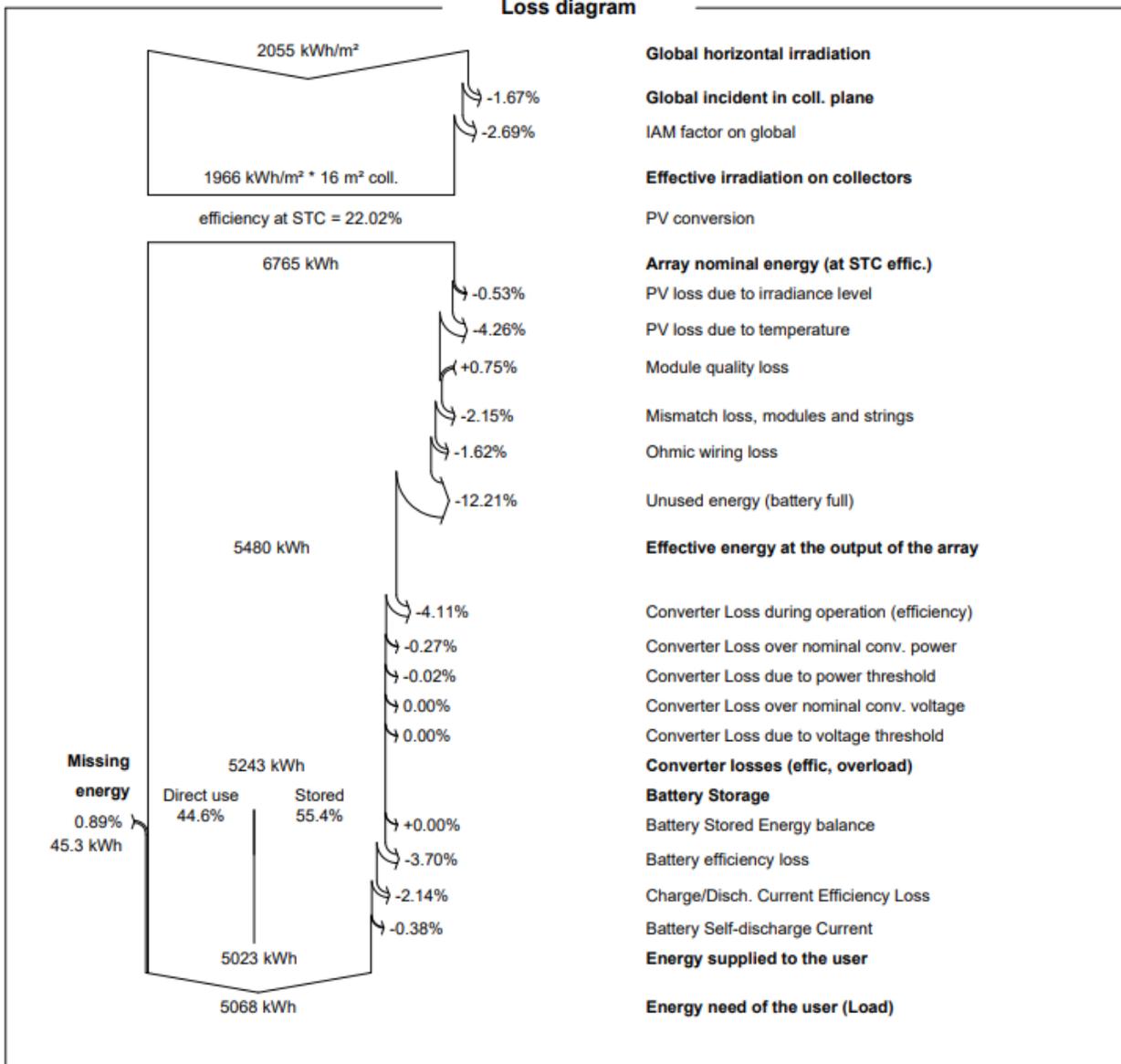
Legends

GlobHor	Global horizontal irradiation
GlobEff	Effective Global, corr. for IAM and shadings
E_Avail	Available Solar Energy
EUnused	Unused energy (battery full)
E_Miss	Missing energy

E_User	Energy supplied to the user
E_Load	Energy need of the user (Load)
SolFrac	Solar fraction (EUsed / ELoad)

Diagrama de pérdidas

Loss diagram



ANEXO IV

REPORTE DE RESULTADOS CASO DE ESTUDIO 4

General parameters			
Standalone system		Standalone system with batteries	
PV Field Orientation			
Orientation			
Fixed plane		Sheds configuration	Models used
Tilt/Azimuth	15 / 0 °	No 3D scene defined	Transposition Perez
			Diffuse Imported
			Circumsolar separate
User's needs			
Daily household consumers			
Constant over the year			
Average	13.9 kWh/Day		

PV Array Characteristics			
PV module		Battery	
Manufacturer	Jinkosolar	Manufacturer	Victron Energy
Model	JKM-430N-54HL4	Model	LFP-CB 12.8V / 200Ah
(Original PVsyst database)		Technology	Lithium-ion, LFP
Unit Nom. Power	430 Wp	Nb. of units	6 in parallel x 2 in series
Number of PV modules	8 units	Discharging min. SOC	10.0 %
Nominal (STC)	3440 Wp	Stored energy	27.3 kWh
Modules	2 Strings x 4 In series	Battery Pack Characteristics	
At operating cond. (50°C)		Voltage	26 V
Pmpp	3181 Wp	Nominal Capacity	1212 Ah (C10)
U mpp	117 V	Temperature	Fixed 20 °C
I mpp	27 A	Battery Management control	
Controller		Threshold commands as	SOC calculation
Universal controller		Charging	SOC = 0.96 / 0.80
Technology	MPPT converter	Discharging	SOC = 0.10 / 0.35
Temp coeff.	-5.0 mV/°C/Elem.		
Converter			
Maxi and EURO efficiencies	97.0 / 95.0 %		
Total PV power			
Nominal (STC)	3.44 kWp		
Total	8 modules		
Module area	15.6 m ²		

Array losses								
Thermal Loss factor			DC wiring losses			Series Diode Loss		
Module temperature according to irradiance			Global array res.	71 mΩ	Voltage drop			0.7 V
Uc (const)	20.0 W/m ² K		Loss Fraction	1.5 % at STC	Loss Fraction			0.5 % at STC
Uv (wind)	0.0 W/m ² K/m/s							
Module Quality Loss			Module mismatch losses			Strings Mismatch loss		
Loss Fraction	-0.8 %		Loss Fraction	2.0 % at MPP	Loss Fraction			0.2 %
IAM loss factor								
Incidence effect (IAM): Fresnel, AR coating, n(glass)=1.526, n(AR)=1.290								
0°	30°	50°	60°	70°	75°	80°	85°	90°
1.000	0.999	0.987	0.962	0.892	0.816	0.681	0.440	0.000

Main results

System Production

Useful energy from solar 5053.36 kWh/year
 Available solar energy 5958.30 kWh/year
 Excess (unused) 681.08 kWh/year

Perf. Ratio PR 74.06 %
 Solar Fraction SF 99.71 %

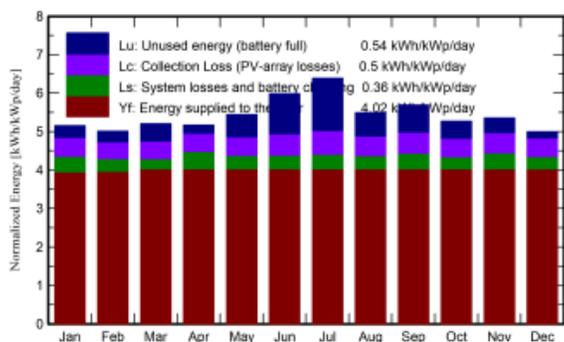
Loss of Load

Time Fraction 0.6 %
 Missing Energy 14.59 kWh/year

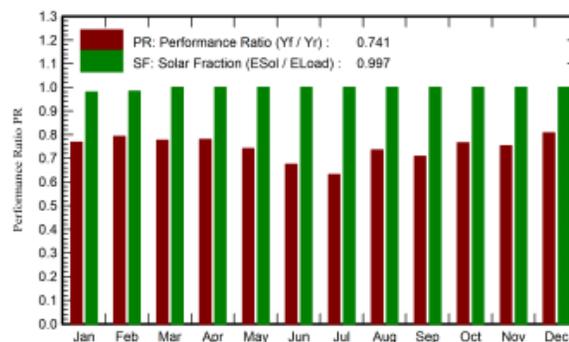
Battery aging (State of Wear)

Cycles SOW 95.1 %
 Static SOW 90.0 %

Normalized productions (per installed kWp)



Performance Ratio PR



Balances and main results

	GlobHor kWh/m ²	GlobEff kWh/m ²	E_Avail kWh	EUnused kWh	E_Miss kWh	E_User kWh	E_Load kWh	SoIFrac ratio
January	182.6	154.3	476.8	31.9	8.454	422.0	430.4	0.980
February	150.4	136.7	422.1	26.2	6.135	382.6	388.8	0.984
March	166.3	157.1	485.6	47.0	0.000	430.4	430.4	1.000
April	152.1	151.8	465.9	22.0	0.000	416.5	416.5	1.000
May	158.0	164.9	510.4	61.5	0.000	430.4	430.4	1.000
June	164.0	176.4	542.4	107.5	0.000	416.5	416.5	1.000
July	180.9	193.8	596.6	144.5	0.000	430.4	430.4	1.000
August	162.4	166.2	511.6	64.1	0.000	430.4	430.4	1.000
September	172.3	166.8	512.7	73.0	0.000	416.5	416.5	1.000
October	173.5	159.7	491.2	46.8	0.000	430.4	430.4	1.000
November	180.7	155.6	480.5	39.5	0.000	416.5	416.5	1.000
December	178.8	149.3	462.4	17.0	0.000	430.4	430.4	1.000
Year	2022.2	1932.5	5958.3	681.1	14.589	5053.4	5068.0	0.997

Legends

GlobHor Global horizontal irradiation
 GlobEff Effective Global, corr. for IAM and shadings
 E_Avail Available Solar Energy
 EUnused Unused energy (battery full)
 E_Miss Missing energy

E_User Energy supplied to the user
 E_Load Energy need of the user (Load)
 SoIFrac Solar fraction (EUsed / ELoad)

Diagrama de pérdidas

