



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

DIRECCIÓN DE POSGRADOS

MAESTRIA EN ELECTRICIDAD

MODALIDAD: INFORME DE INVESTIGACIÓN

Título:

Desarrollo de un modelo de evaluación técnico económico para la optimización de inversiones en micro generación fotovoltaica en la granja avícola “Damiancito” en el cantón Pelileo, provincia de Tungurahua.

Trabajo de titulación previo a la obtención del título de Magister en Electricidad
mención Sistemas Eléctricos de Potencia

Autor:

Paredes Sánchez Daniela Alejandra

Tutor:

Marrero Ramírez Secundino PhD

LATACUNGA-ECUADOR

2024

AVAL DEL TUTOR

En mi calidad de Tutor del Trabajo de Titulación “Desarrollo de un modelo de evaluación técnico económico para la optimización de inversiones en micro generación fotovoltaica en la granja avícola “Damiancito” en el cantón Pelileo, provincia de Tungurahua” presentado por: Paredes Sánchez Daniela Alejandra, para optar por el título magíster en Electricidad mención sistemas eléctricos de potencia.

CERTIFICO

Que dicho trabajo de investigación ha sido revisado en todas sus partes y se considera que reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a la presentación para la valoración por parte del Tribunal de Lectores que se designe y su exposición y defensa pública.

Latacunga, julio, 22, 2024



Dr. Secundino Marrero Ramírez PhD

CC.: 1757107907

AVAL DEL TRIBUNAL

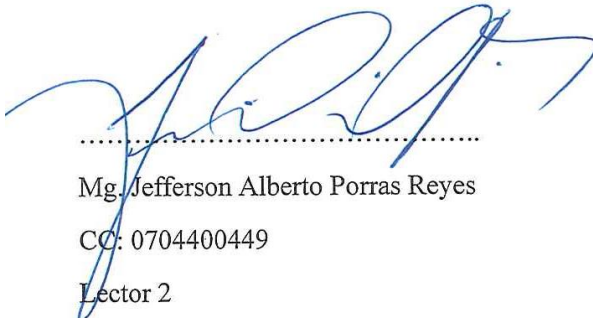
El trabajo de Titulación: “Desarrollo de un modelo de evaluación técnico económico para la optimización de inversiones en micro generación fotovoltaica en la granja avícola “Damiancito” en el cantón Pelileo, provincia de Tungurahua”, ha sido revisado, aprobado y autorizado su impresión y empastado, previo a la obtención del título de Magíster en Electricidad mención Sistemas Eléctricos de Potencia; el presente trabajo reúne los requisitos de fondo y forma para que la estudiante pueda presentarse a la exposición y defensa.

Latacunga, agosto,08, 2024



.....
Mg. Carlos Francisco Pacheco Mena
CC: 0503072902

Presidente del Tribunal



.....
Mg. Jefferson Alberto Porras Reyes
CC: 0704400449
Lector 2



.....
Mg. Marco Aníbal León Segovia
CC: 0502305402
Lector 3

DEDICATORIA

Esta investigación dedico a mi esposo Darío Campos por ser mi apoyo incondicional, por siempre estar conmigo en todo momento.

A mi hijo Emilio que es mi inspiración, mi razón de lucha, mi vida entera.

A mi mamá Martha Sánchez por ser mi ángel, mi apoyo en todo momento. Hoy soy lo que soy gracias a ella.

A toda mi familia que constantemente han estado pendientes de mí y me han deseado los mejores éxitos.

¡Los llevo siempre en mi corazón!

Daniela Paredes

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por siempre bendecirme con trabajo, salud y sobre todo por cada oportunidad para seguir creciendo como persona y como profesional.

Quiero extender mi profundo agradecimiento al Doctor Secundino Marrero por guiarme y compartirme sus experiencias y conocimientos al requerir la orientación durante el desarrollo de esta tesis.

Quiero hacer llegar mi agradecimiento a la Universidad Técnica de Cotopaxi y en especial al Máster Carlos Quinatoa Coordinador de la Maestría por todo su apoyo, por siempre brindar su ayuda desinteresadamente para la realización de este trabajo.

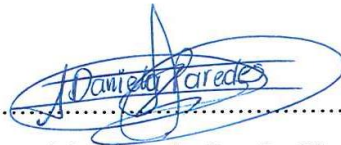
¡Millón gracias por todo!

Daniela Paredes

RESPONSABILIDAD DE AUTORÍA

Quien suscribe, declara que asume la autoría de los contenidos y los resultados obtenidos en el presente trabajo de titulación.

Latacunga, agosto, 08, 2024



Ing. Daniela Alejandra Paredes Sánchez

C.C. 1804740411

RENUNCIA DE DERECHOS

Quien suscribe, cede los derechos de autoría intelectual total y/o parcial del presente trabajo de titulación a la Universidad Técnica de Cotopaxi.

Latacunga, agosto, 08, 2024




Ing. Daniela Alejandra Paredes Sánchez

C.C. 1804740411

AVAL DEL PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

Quien suscribe, declara que el presente Trabajo de Titulación: “Desarrollo de un modelo de evaluación técnico económico para la optimización de inversiones en micro generación fotovoltaica en la granja avícola “Damiancito” en el cantón Pelileo, provincia de Tungurahua” contiene las correcciones a las observaciones realizadas por los lectores en sesión científica del tribunal.

Latacunga, agosto, 08, 2024



.....
Mg. Carlos Francisco Pacheco Mena

CC: 0503072902

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
DIRECCIÓN DE POSGRADOS
MAESTRÍA EN ELECTRICIDAD
MENCIÓN SISTEMAS ELÉCTRICOS DE POTENCIA

Título: “Desarrollo de un modelo de evaluación técnico económico para la optimización de inversiones en Micro generación fotovoltaica en la granja avícola “Damiancito” en el cantón Pelileo, Provincia de Tungurahua”

Autor: Paredes Sánchez Daniela Alejandra

Tutor: Marrero Ramírez Secundino PhD

RESUMEN

Actualmente, la búsqueda de alternativas energéticas sustentables y económicamente viables es de gran importancia para el sector agroindustrial, especialmente para las granjas avícolas, donde el consumo de energía es un factor clave para las operaciones y la rentabilidad de una empresa. El presente trabajo de investigación se centra en el desarrollo de una evaluación técnico económico que pueda optimizar las inversiones en micro generación solar en la granja avícola, considerando aspectos tanto técnicos como financieros. El uso de sistemas fotovoltaicos en granjas avícolas no sólo promete reducir el consumo de energía tradicional y los costos operativos asociados, sino también reducir el impacto ambiental de estas operaciones. Sin embargo, la rentabilidad de estos sistemas depende de varios factores, como la ubicación geográfica, las condiciones climáticas locales y el correcto diseño e instalación del sistema fotovoltaico. En la investigación económica y financiera, la rentabilidad del proyecto se evalúa utilizando indicadores como el Valor Neto Actual VAN y la Tasa Interna de Retorno TIR. Estos indicadores son necesarios para determinar la rentabilidad de invertir en micro generación fotovoltaica. El VAN es una medida que permite conocer el valor presente de los flujos de caja futuros que generará la inversión, por otro lado, la TIR es la tasa de descuento que hace que el VAN sea igual a cero. Para la parte de los cálculos matemáticos específicamente la optimización del modelo se utiliza el programa AMPL, el mismo que permite parametrizar la información y modela la maximización de beneficios económicos del sistema fotovoltaico.

PALABRAS CLAVE:

Sistema fotovoltaico; optimización; irradiancia; micro generación; inversiones

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
DIRECCIÓN DE POSGRADOS
MAESTRÍA EN ELECTRICIDAD
MENCIÓN SISTEMAS ELÉCTRICOS DE POTENCIA

Title: "DEVELOPMENT OF A TECHNICAL-ECONOMIC EVALUATION MODEL FOR THE OPTIMIZATION OF INVESTMENTS IN PHOTOVOLTAIC MICRO-GENERATION AT THE "DAMIANCITO" POULTRY FARM IN THE PELILEO CANTON, PROVINCE OF TUNGURAHUA."

Author: Paredes Sánchez Daniela Alejandra

Tutor: Marrero Ramírez Secundino PhD

ABSTRACT

Currently, the search for sustainable and economically viable energy alternatives is crucial for the agro-industrial sector, especially for poultry farms, where energy consumption significantly impacts operations and profitability. The present research focuses on developing a technical-economic evaluation model to optimize investments in solar microgeneration on poultry farms, considering both technical and financial aspects. Photovoltaic systems on poultry farms promise to reduce traditional energy consumption and associated operating costs while also mitigating environmental impact. However, the profitability of these systems depends on several factors, such as geographical location, local climatic conditions, and the correct design and installation of the PV system. In this study, profitability is evaluated using indicators like Net Present Value (NPV) and Internal Rate of Return (IRR). These indicators are necessary to determine the profitability of investing in photovoltaic micro-generation. NPV measures the present value of future cash flows from the investment, while IRR is the discount rate that makes the NPV zero. For mathematical calculations and optimization, the AMPL program is used, which allows for parameterization and modeling to maximize the economic benefits of the photovoltaic system.

KEY WORDS:

Photovoltaic system, optimization, irradiance, micro generation, investments

Yo Guashco Gordón Adriana Daniela con cédula de identidad número: 1804768727 Licenciada en Ciencias de la Educación Mención Inglés, con número de registro de la SENEYCYT: 1010-2021-2391468; **CERTIFICO** haber revisado y aprobado la traducción al idioma inglés del resumen del trabajo de investigación con el título "Desarrollo de un modelo de evaluación técnico económico para la optimización de inversiones en micro generación fotovoltaica en la granja avícola "Damiancito" en el cantón Pelileo, provincia de Tungurahua" de: Daniela Alejandra Paredes Sánchez, aspirante a Magister en Electricidad en mención Sistemas Eléctricos de Potencia.



.....
Lic. Adriana Daniela Guashco Gordón
1804768727

Latacunga, julio 22, 2024

ÍNDICE DE CONTENIDO

| | |
|---|----------|
| PORTADA..... | i |
| AVAL DEL TUTOR..... | ii |
| AVAL DEL TRIBUNAL..... | iii |
| DEDICATORIA | iv |
| AGRADECIMIENTO | v |
| RESPONSABILIDAD DE AUTORÍA | vi |
| RENUNCIA DE DERECHOS..... | vii |
| AVAL DEL PRESIDENTE DEL TRIBUNAL..... | viii |
| RESUMEN..... | ix |
| ABSTRACT..... | x |
| ÍNDICE DE CONTENIDO..... | xi |
| ÍNDICE DE TABLAS | xix |
| ÍNDICE DE FIGURAS..... | xx |
| INTRODUCCIÓN | 1 |
| Antecedentes | 2 |
| Planteamiento del problema..... | 2 |
| Formulación del problema | 3 |
| Objetivo General:..... | 3 |
| Objetivos específicos: | 3 |
| Sistemas de tareas en relación a los objetivos específicos..... | 3 |
| Justificación..... | 4 |
| Hipótesis..... | 5 |
| CAPÍTULO 1. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA-METODOLÓGICA..... | 6 |
| 1.1. Fundamentación del Estado del Arte | 6 |

| | | |
|-----------|---|----|
| 1.2. | Fundamentación Teórica..... | 10 |
| 1.2.1. | Energía Solar..... | 10 |
| 1.2.2. | Radiación Solar..... | 10 |
| 1.2.2.1. | Tipos de Radiación Solar..... | 10 |
| 1.2.3. | Condiciones meteorológicas..... | 11 |
| 1.2.4. | Movimiento del Sol..... | 11 |
| 1.2.5. | Energía Fotovoltaica..... | 12 |
| 1.2.6. | Sistemas Fotovoltaicos..... | 12 |
| 1.2.6.1. | Sistemas aislados..... | 12 |
| 1.2.6.2. | Sistemas conectados a la red..... | 13 |
| 1.2.6.3. | Sistema híbrido..... | 14 |
| 1.2.7. | Aplicación de la energía fotovoltaica..... | 14 |
| 1.2.8. | Módulos fotovoltaicos..... | 14 |
| 1.2.9. | Componentes de los Sistemas Fotovoltaicos..... | 15 |
| 1.2.9.1. | Panel Fotovoltaico..... | 15 |
| 1.2.9.2. | Generador Fotovoltaico..... | 15 |
| 1.2.9.3. | Baterías..... | 16 |
| 1.2.9.4. | Reguladores..... | 17 |
| 1.2.9.5. | Inversores..... | 18 |
| 1.2.9.6. | Cableado del sistema solar fotovoltaico..... | 19 |
| 1.2.9.7. | Equipo de protección y maniobra..... | 19 |
| 1.2.9.8. | Sistema de puesta a tierra..... | 19 |
| 1.2.10. | Regulación ARCERNNR-001/2021..... | 19 |
| 1.2.10.1. | Sistema de generación distribuida para el autoabastecimiento de consumidores regulados (SGDA)..... | 20 |
| | Medición de la energía eléctrica..... | 20 |

| | |
|--|----|
| Categorías tarifarias | 20 |
| Niveles de voltaje..... | 20 |
| 1.2.11. Factor de Planta..... | 21 |
| 1.2.12. Análisis financiero | 22 |
| 1.2.12.1. Valor actual neto (VAN)..... | 22 |
| 1.2.12.2. Tasa interna de retorno..... | 22 |
| 1.2.13. Costo nivelado de la Energía (LCOE). | 23 |
| 1.2.13.1. Cálculo del LCOE..... | 23 |
| 1.2.14. Optimización matemática. | 24 |
| 1.2.15. Optimización de micro redes. | 24 |
| 1.2.15.1. Técnicas de optimización para la gestión de la energía en la micro red.. | 25 |
| 1.2.15.2. Despacho económico | 25 |
| 1.2.16. Programación lineal | 25 |
| 1.2.16.1. Importancia de la programación en línea..... | 25 |
| Toma de decisiones | 25 |
| Optimización..... | 25 |
| Eficiencia | 25 |
| Innovación..... | 26 |
| 1.2.16.2. Pasos para realizar una programación lineal..... | 26 |
| Definir el problema | 26 |
| Identificar las variables | 26 |
| 1.2.17. Software AMPL | 26 |
| 1.2.17.1. Características Principales | 27 |
| 1.2.17.2. Aplicaciones..... | 27 |
| 1.3. Fundamentación Metodológica..... | 28 |
| 1.3.1. Enfoque | 28 |

| | | |
|----------|---|----|
| 1.3.2. | Tipo de investigación | 28 |
| 1.3.3. | Técnica de recolección de información | 29 |
| 1.3.3.1. | Procedimientos empleados para la obtención y análisis de la información | 29 |
| | Lectura comprensiva | 29 |
| | Sintetización e interpretación de información | 29 |
| | Observación | 29 |
| | Medición | 29 |
| | Cálculo | 29 |
| | Simulación | 30 |
| 1.4. | Conclusiones Capítulo 1 | 30 |
| | CAPÍTULO II. PROPUESTA. | 31 |
| 2.1. | Título del proyecto. | 31 |
| 2.2. | Objetivo del proyecto. | 31 |
| 2.3. | Descripción de la propuesta. | 31 |
| 2.4. | Rentabilidad del proyecto | 32 |
| 2.4.1. | Viabilidad técnica | 32 |
| 2.4.2. | Viabilidad comercial | 32 |
| 2.4.3. | Viabilidad financiera | 32 |
| 2.4.4. | Viabilidad administrativa | 32 |
| 2.4.5. | Viabilidad ambiental | 33 |
| 2.5. | Metodología o procedimientos empleados para el cumplimiento de los objetivos planteados. | 33 |
| 2.5.1. | Descripción del usuario para el caso de estudio. | 33 |
| 2.5.2. | Ubicación del sistema fotovoltaico | 34 |
| 2.5.3. | Obtención de información meteorológica de irradiación mediante el software PVsyst. | 35 |

| | | |
|-----------|---|----|
| 2.5.4. | Selección de la ubicación de la instalación solar fotovoltaica..... | 35 |
| 2.5.5. | Datos meteorológicos referenciales..... | 36 |
| 2.5.6. | Dimensionamiento fotovoltaico..... | 38 |
| 2.5.7. | Estimación del recurso solar disponible | 38 |
| 2.5.8. | Potencia instalada en la Granja avícola | 39 |
| 2.5.9. | Curva de demanda de la Granja avícola..... | 40 |
| 2.5.10. | Selección del sistema fotovoltaico..... | 41 |
| 2.5.10.1. | Ángulos de inclinación y acimut..... | 41 |
| 2.5.10.2. | Método de la inclinación óptima anual..... | 41 |
| 2.5.10.3. | Método en función del periodo de tiempo y el uso..... | 42 |
| 2.5.10.4. | Criterios Técnicos | 42 |
| 2.5.10.5. | Pérdidas por inclinación y orientación..... | 43 |
| 2.5.11. | Especificaciones técnicas del sistema FV..... | 44 |
| 2.5.11.1. | Determinación de área efectiva..... | 44 |
| 2.5.12. | Factor de rendimiento energético, fr..... | 45 |
| 2.5.13. | Consumo energético diario | 45 |
| 2.5.14. | Amperios hora requeridos para el sistema | 46 |
| 2.5.15. | Corriente pico del sistema..... | 47 |
| 2.5.16. | Selección del panel solar..... | 47 |
| 2.5.17. | Criterios de acoplamiento generador pv-inversor..... | 48 |
| 2.5.18. | Cálculo de número de paneles..... | 49 |
| 2.5.19. | Cálculo de la potencia máxima de generación..... | 49 |
| 2.5.20. | Distribución de los paneles solares | 50 |
| 2.5.20.1. | Conexión de paneles solares en serie..... | 50 |
| 2.5.20.2. | Conexión de paneles solares en paralelo | 50 |
| 2.5.20.3. | Dimensionamiento del espacio físico para los paneles..... | 51 |

| | |
|---|----|
| 2.5.21. Banco de baterías | 52 |
| 2.5.21.1.Determinación de la capacidad del banco de baterías | 52 |
| 2.5.21.2.Distribución del banco de baterías en serie..... | 53 |
| 2.5.21.3.Distribución del banco de baterías en paralelo | 53 |
| 2.5.22. Dimensionamiento y selección del inversor | 54 |
| 2.5.23. Distancia entre elementos para el cálculo de conductores..... | 56 |
| 2.5.23.1.Distancia entre paneles solares fotovoltaicos | 56 |
| 2.5.23.2.Distancia entre paneles e inversor de corriente..... | 56 |
| 2.5.23.3.Distancia entre inversor de corriente y banco de baterías..... | 57 |
| 2.5.24. Cálculo de corriente de consumo | 57 |
| 2.5.24.1.Corriente de carga del sistema | 57 |
| 2.5.24.2.Corriente de carga del inversor | 57 |
| 2.5.25. Dimensionamiento de los conductores y protecciones | 58 |
| 2.5.25.1.Selección de protecciones | 58 |
| Fusible..... | 58 |
| Fusible Tipo NH | 59 |
| Interruptor termomagnético o Breaker..... | 59 |
| 2.5.26. Diagrama del sistema solar fotovoltaico..... | 60 |
| 2.5.27. Presupuesto y Resultados técnicos..... | 61 |
| 2.5.27.1.Resultados técnicos | 61 |
| 2.5.27.2.Presupuesto del proyecto. | 61 |
| 2.5.28. Indicadores de rentabilidad | 61 |
| 2.5.29. Análisis y recuperación de la inversión | 63 |
| 2.5.30. Cálculo de costo nivelado de energía (LCOE) | 65 |
| 2.5.30.1.Cálculo de LCOE para los Paneles Solares. | 65 |
| 2.5.30.2.Cálculo de LCOE para el Banco de Baterías | 67 |

| | |
|--|-----------|
| 2.5.31. Modelo de optimización matemático..... | 67 |
| 2.5.31.1. Balance energético | 68 |
| 2.5.31.2. Datos conocidos..... | 68 |
| 2.5.31.3. Función objetivo | 69 |
| Precio de la Energía vendida..... | 69 |
| Precio de la energía consumida..... | 70 |
| Precio de la energía comprada | 70 |
| Energía producida por el sistema fotovoltaico..... | 71 |
| Energía almacenada por el banco de baterías | 71 |
| Energía consumida del Sistema Eléctrico | 71 |
| Energía enviada al sistema de almacenamiento..... | 72 |
| Energía consumida por la granja avícola | 72 |
| Generación total del sistema fotovoltaico..... | 72 |
| 2.5.31.4. Variables de decisión..... | 73 |
| 2.5.31.5. Restricciones | 73 |
| 2.5.32. Programación Optimización en el Software AMPL..... | 73 |
| 2.5.32.1. Definición del Problema | 73 |
| 2.5.32.2. Estructura del Modelo AMPL..... | 74 |
| 2.5.32.3. Parámetros..... | 74 |
| 2.5.32.4. Variables | 74 |
| 2.5.32.5. Función objetivo | 75 |
| 2.5.32.6. Restricciones | 75 |
| 2.5.32.6. Datos obtenidos..... | 76 |
| 2.5.33. Factor de planta..... | 77 |
| 2.6. Conclusiones Capítulo II..... | 77 |
| CAPÍTULO III. VALIDACIÓN DE LA PROPUESTA | 79 |

| | | |
|--------|---|----|
| 3.1. | Análisis de los resultados | 79 |
| 3.2. | Capacidad óptima del Sistema Fotovoltaico (X1)..... | 79 |
| 3.3. | Capacidad óptima de almacenamiento (X2)..... | 80 |
| 3.4. | Generación Total del Sistema Fotovoltaico (GT) | 81 |
| 3.5. | Beneficios económicos | 81 |
| 3.5.1. | Reducción de la Inversión Inicial | 82 |
| 3.6. | Conclusiones del Capítulo III | 83 |
| 3.7. | Conclusiones generales | 84 |
| 3.8. | Recomendaciones | 85 |
| | Referencias bibliográficas | 86 |
| | ANEXOS | 91 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | | |
|-----------------|--|----|
| Tabla 1 | Sistema de tarea en relación a los objetivos específicos | 3 |
| Tabla 2 | Tipos de Radiación solar | 10 |
| Tabla 3 | Parámetros comerciales de las baterías | 16 |
| Tabla 4 | Niveles de voltaje en el punto de entrega del consumidor regulado..... | 20 |
| Tabla 5 | Categoría tarifarias y los niveles de voltaje | 21 |
| Tabla 6 | Consumo mensual kWh durante el año 2023..... | 33 |
| Tabla 7 | Ubicación geográfica de la avícola | 36 |
| Tabla 8 | Potencia instalada en la avícola | 39 |
| Tabla 9 | Demanda de la granja avícola | 40 |
| Tabla 10 | Distintos criterios para el cálculo de la inclinación óptima. | 42 |
| Tabla 11 | Características técnicas del panel fotovoltaico ERA 72 CELL 340Wp | 48 |
| Tabla 12 | Características principales de la Batería | 52 |
| Tabla 13 | Características técnicas del Inversor Growatt SPT 3000TL LVM-48P | 55 |
| Tabla 14 | Presupuesto del proyecto | 61 |
| Tabla 15 | Facturación de energía del año 2023..... | 63 |
| Tabla 16 | Detalle de la vida útil de los equipos del sistema..... | 64 |
| Tabla 17 | Análisis de rentabilidad económica del proyecto..... | 65 |
| Tabla 18 | Datos para cálculo de LCOE en los paneles solares | 66 |
| Tabla 19 | Cálculo LCOE para paneles solares | 66 |
| Tabla 20 | Cálculo LCOE del banco de baterías | 67 |
| Tabla 21 | Energía enviada al sistema de almacenamiento | 72 |
| Tabla 22 | Definición de parámetros | 74 |
| Tabla 23 | Definición de variables | 74 |
| Tabla 24 | Capacidad óptima de almacenamiento..... | 80 |
| Tabla 25 | Reducción de la Inversión inicial..... | 82 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1 Tipos de radiación sobre una superficie | 11 |
| Figura 2 Posicionamiento del Sol | 11 |
| Figura 3 Funcionamiento de un módulo fotovoltaico..... | 12 |
| Figura 4 Sistema fotovoltaico aislado..... | 13 |
| Figura 5 Sistema interconectado a la red de distribución | 13 |
| Figura 6 Sistema fotovoltaico híbrido..... | 14 |
| Figura 7 Diagrama de Panel Fotovoltaico. Principio básico de funcionamiento de un panel fotovoltaico..... | 15 |
| Figura 8 Esquema de un generador fotovoltaico compuesto por 2 ramas de 3 módulos en serie..... | 15 |
| Figura 9 Esquema de Batería. Principio básico de funcionamiento de una batería | 16 |
| Figura 10 Esquema de un Regulador. Principio básico de funcionamiento de un Regulador..... | 17 |
| Figura 11 Principio básico de funcionamiento de un Inversor. | 18 |
| Figura 12 Consumo total de kWh Año 2023 | 34 |
| Figura 13 Ubicación de la Granja Avícola "Damiancito"..... | 34 |
| Figura 14 Ubicación de la instalación fotovoltaica..... | 35 |
| Figura 15 . Valores mensuales de irradiación global y difusa horizontal de la base de datos METEONORM, software PVSYST. | 37 |
| Figura 16 Valores mensuales de irradiación global y difusa horizontal de la base de datos NASA, software PVSYST. | 37 |
| Figura 17 Comparación de los datos obtenidos de las diferentes bases de datos. | 38 |
| Figura 18 Horas pico solares del lugar según la NASA | 39 |
| Figura 19 Sistema de iluminación de la granja avícola. | 40 |
| Figura 20 Curva de demanda eléctrico de la granja avícola | 41 |
| Figura 21 Pérdidas de energía solar por inclinación y orientación de un panel fotovoltaico. | 43 |
| Figura 22 Configuración de orientación de los paneles..... | 44 |
| Figura 23 Dimensión del área disponible para la instalación del sistema fotovoltaico. | 44 |

| | |
|---|----|
| Figura 24 Datos históricos de temperatura de Huambalito..... | 48 |
| Figura 25 Distribución de los paneles solares..... | 51 |
| Figura 26 Diagrama unifilar sistema fotovoltaico | 60 |
| Figura 27 Metodología de trabajo | 68 |
| Figura 28 Capacidad del Banco de Baterías | 81 |
| Figura 29 Beneficio económico | 82 |

INTRODUCCIÓN

La generación fotovoltaica actualmente se encuentra en auge, ya que año a año está ganando espacio a nivel mundial y por ende en el Ecuador, donde la fuente de energía proveniente del sol es una energía ilimitada, lo que ayuda a que el costo del kWh generado siga disminuyendo continuamente por el desarrollo de nuevas tecnologías.

Este tipo de generación renovable es muy atractiva para invertir ya que reduce el costo de la facturación mensual y también por el abaratamiento de los costos de los diferentes elementos y equipos que componen todo este sistema de generación (paneles solares, inversores, conductores, baterías, etc.), y que, a la larga se constituyen en ahorros económicos prolongados, que, según los fabricantes, se puede alcanzar una vida útil de todo el sistema de generación de entre 20 a 25 años.

La micro generación es una solución para crear energía limpia, ya que, por la parte de conservación ambiental constituye en un gran beneficio para la reducción del cambio climático y contaminación por la emisión de gases de efecto invernadero.

En este contexto, esta tesis tiene como objetivo brindar a la avícola las herramientas para tomar decisiones informadas sobre la implementación de esta tecnología, considerando tanto aspectos técnicos como económicos.

La presente investigación se realiza en la Avícola “Damiancito” ubicada en el caserío Huambalito perteneciente a la parroquia Bolívar y al cantón San Pedro de Pelileo de la provincia de Tungurahua, con el estudio y desarrollo de una evaluación técnico económica donde se recopilará una serie de datos tomados de mediciones de radiación solar en el mencionado sitio de estudio.

La industria avícola enfrenta desafíos cada vez mayores para garantizar la rentabilidad y el desarrollo sostenible. Los precios de la electricidad, el recurso más importante de la industria avícola, siguen aumentando, lo que afecta negativamente a los márgenes de beneficio. En este contexto, la micro generación fotovoltaica se perfila como una alternativa viable para reducir los costos energéticos y las emisiones de carbono en la avicultura. Implica la instalación de pequeños sistemas

fotovoltaicos para generar electricidad en el sitio para satisfacer algunas o todas las necesidades energéticas de la granja.

Antecedentes: El presente tema se encuentra enmarcado dentro de la línea de investigación de la maestría de la Universidad Técnica de Cotopaxi: Control y sistemas inteligentes y que corresponde a la sublínea de Energías alternativas y renovables, eficiencia energética y protección ambiental.

La avícola "Damiancito" ubicado en el cantón Pelileo, provincia de Tungurahua no posee una micro generación fotovoltaica; el suministro eléctrico se lo hace por medio de la red de distribución de bajo voltaje.

Planteamiento del problema: La implementación de sistemas de energía solar en granjas avícolas implica muchos desafíos y oportunidades que requieren un análisis detallado.

Las avícolas consumen mucha energía, principalmente para iluminación, seguridad, abastecimiento de alimento a las aves y calefacción para mantener condiciones óptimas de crecimiento de las gallinas.

A pesar de los posibles beneficios, la implementación del sistema fotovoltaico en granjas avícolas puede plantear algunos desafíos, estos pueden incluir la inversión inicial requerida, la necesidad de una gran cantidad de paneles solares para satisfacer las necesidades energéticas de la granja y la integración del sistema de energía solar en la infraestructura existente. Además, se debe considerar la variabilidad de la radiación solar y su efecto sobre la eficiencia del sistema. En este contexto, la implementación de sistemas de generación de energía fotovoltaica puede ser una solución viable para reducir los costos de energía y promover la sostenibilidad ambiental.[1]

Sin embargo, invertir en este tipo de tecnología requiere un análisis técnico económico detallado que garantice que la inversión sea rentable y sostenible a largo plazo.

El sector avícola no se involucra en las inversiones de micro generación fotovoltaica, por ende, no se establece el estudio de las curvas de demanda, el recurso solar disponible y las condiciones climáticas, y sobre todo no se establece

un análisis económico que permita evaluar los costos involucrados para generar energía eléctrica, y para de esta forma determinar si la estructura eléctrica establecida alcanza una rentabilidad óptima.

Formulación del problema: Los diseños de generación fotovoltaica de autoconsumo en empresas avícolas no presentan una evaluación adecuada para determinar su factibilidad económica, lo que impide la optimización de recursos y la evaluación efectiva de los proyectos a implementar.

Objetivo General:

- Desarrollar una evaluación técnico-económico para la optimización de inversiones en micro generación fotovoltaica para el sector avícola.

Objetivos específicos:

- Realizar el estado de la cuestión del desarrollo de una evaluación técnico económico para la optimización de inversiones en micro generación fotovoltaica en el sector avícola.
- Establecer un análisis del perfil de consumo energético de la granja avícola “Damiancito” que determinan los requisitos técnicos necesarios para la instalación del sistema fotovoltaico y estimar los costos de inversión, operativos y de mantenimiento del sistema
- Evaluar el sistema con los parámetros técnicos y económicos para optimizar los beneficios económicos y determinar la viabilidad del proyecto de autogeneración fotovoltaica.

Sistemas de tareas en relación a los objetivos específicos.

Tabla 1 Sistema de tarea en relación a los objetivos específicos

| OBJETIVOS ESPECÍFICOS | ACTIVIDADES | RESULTADOS DE LAS ACTIVIDADES | MEDIOS DE VERIFICACIÓN |
|--|---|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"> • Realizar el estado de la cuestión del desarrollo de una evaluación técnico económico para la optimización de | <ul style="list-style-type: none"> • Búsqueda de información bibliográfica en medios físicos y digitales sobre micro | <ul style="list-style-type: none"> • Fundamentación técnico-teórica para el desarrollo de la investigación. | <ul style="list-style-type: none"> • Fuentes bibliográficas • Google académico |

| | | | |
|---|--|---|---|
| inversiones en micro generación fotovoltaica en el sector avícola. | generación fotovoltaica. | | |
| <ul style="list-style-type: none"> • Establecer un análisis del perfil de consumo energético de la granja avícola “Damiancito” que determinan los requisitos técnicos necesarios para la instalación del sistema fotovoltaico y estimar los costos de inversión, operativos y de mantenimiento del sistema | <ul style="list-style-type: none"> • Determinación de la demanda de la avícola. • Recolección de los datos de eléctricos de cada componente del sistema fotovoltaico. • Hallar el valor de radiación solar en la ubicación de la avícola. | <ul style="list-style-type: none"> • Datos de demanda de la avícola. • Parámetros eléctricos para configurar el sistema fotovoltaico. • Valor de radiación promedio en el lugar donde se ubica la avícola. | <ul style="list-style-type: none"> • Método de levantamiento de datos. • Hojas de información de cada equipo • Uso de software meteorológico |
| <ul style="list-style-type: none"> • Evaluar el sistema con los parámetros técnicos y económicos para optimizar los beneficios económicos y determinar la viabilidad del proyecto de autogeneración fotovoltaica. | <ul style="list-style-type: none"> • Cálculo de los beneficios económicos. • Determinación del presupuesto. | <ul style="list-style-type: none"> • Maximización de beneficios económicos para la determinación de la viabilidad del proyecto. | <ul style="list-style-type: none"> • Software AMPL |

Justificación: La idea de utilizar estas nuevas tecnologías surge con el fin de cumplir con las necesidades energéticas del sector avícola, debido a la cantidad de demanda energética que se tiene. La presente investigación se realizó debido a que actualmente el sector avícola del Ecuador, no cuenta con un sistema de micro generación fotovoltaica para autoconsumo de energía eléctrica, y por ende no cuentan con una evaluación técnico económica para la optimización de inversiones.

La producción de energía por medio de la captación solar es uno de los métodos más destacados por su eficiencia creciente en el tiempo y facilidad de instalación.

Para resolver cada problema de optimización es necesario el planteamiento de una evaluación que permita aplicar las técnicas más apropiadas.

Se evalúa la aplicación de micro generación fotovoltaica en la ubicación de la avícola, la cual presenta condiciones de estudio interesantes. El estudio y análisis en este sector se basa en la rentabilidad económica que se presenta bajo determinadas condiciones y se analiza si resulta factible o no la instalación del sistema fotovoltaica en este sector. [2]

Hipótesis: La propuesta se plantea en desarrollar la evaluación técnico económica para la optimización de inversiones, la misma que permitirá generar y suministrar de forma adecuada la energía eléctrica para autoconsumo en la avícola Damiancito.

CAPÍTULO 1. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA-METODOLÓGICA

En el presente capítulo se establece como objetivo buscar información, investigaciones, conceptos, definiciones y metodologías; los mismos que detallan los antecedentes de la investigación donde se especifican las bases teóricas correspondientes.

1.1.Fundamentación del Estado del Arte

Con el objetivo de tener una orientación sobre la tecnología de la micro generación fotovoltaica que se ha realizado en los últimos años, se enfatiza en el estudio de la viabilidad técnico económico, se ha hecho la recopilación de distintos trabajos e investigaciones que se han publicado con respecto a este tema, con el fin de distinguir algunos logros y avances que se han ido desarrollando, y de cómo se puede integrar o mejorar los trabajos investigativos ya realizadas, con respecto a este trabajo que se pretende realizar.

Paúl Francisco Salazar Flores (2021), realizó un trabajo en Quito-Ecuador, titulado: *“Desarrollo de un modelo de evaluación técnico-económico para la optimización de inversiones en micro generación fotovoltaica para usuarios comerciales en Ecuador”*, cuyo objetivo general consistía en desarrollar un modelo técnico económico para la optimización de inversiones en micro generación fotovoltaica. En donde, realiza un análisis técnico que evalúa las tecnologías existentes en el mercado ecuatoriano y se ajusta a sus parámetros nominales en función del lugar a instalar, y, realiza el dimensionamiento del sistema fotovoltaico en función de los niveles de irradiación solar.

Luego, realiza un análisis económico tributario en base al modelo de valoración de activos financieros, impacto de los beneficios tributarios y la modelación de flujos de carga proyectados.[2]

Byron Xavier Prado Gaibor (2020), en su trabajo realizado en Quito-Ecuador, titulado: *“Análisis técnico-económico de una instalación fotovoltaica en consumidores residenciales en áreas rurales aisladas”*. El objetivo general planteado es realizar el análisis técnico-económico de una instalación fotovoltaica en consumidores residenciales en áreas rurales aisladas. Donde se realiza una

revisión teórica de las características más relevantes de las partes de una estructura de generación fotovoltaica. Detalla una revisión de las características técnicas de los componentes de la generación con paneles de efecto PV, y el análisis del potencial solar que se debe establecer para la implementación de una estructura de generación incluyendo la determinación del potencial fotovoltaico, donde involucra a variables como la irradiación y temperatura de la ubicación.[1]

Hjalmar Germánico Guerra Palma y Mirian del Carmen Orbea Hinojosa (2021), realizaron el trabajo titulado: *“Optimización de despacho para la gestión de una micro red aislada en el sector de Salache”* en la ciudad de Latacunga-Ecuador. Donde establece como objetivo del proyecto realizar el modelo matemático y el algoritmo de control MPPT para optimizar la micro red y abastecer la demanda eléctrica del Invernadero de granos andinos y laboratorio. Se establece aprovechar al máximo el recurso proveniente de la energía solar, integrando al sistema fotovoltaico un control MPPT, un convertidor capaz de exigir la transferencia de la máxima potencia disponible en los módulos solares hacia el banco de baterías, a partir de un algoritmo de conductancia incremental. El método de control utilizado es denominado Técnica para el seguimiento del Punto de Máxima Potencia. Se aplica el control MPPT mediante el software de simulación Matlab/Simulink, donde se desarrolla la simulación del funcionamiento de la micro red y la evaluación del algoritmo aplicado al sistema fotovoltaico. [3]

Jonathan Javier Escobar Galindo (2019) realiza una *“Evaluación de la favorabilidad económica de sistemas fotovoltaicos en Colombia, a partir de la optimización de la inversión en función de las condiciones de demanda y la irradiación solar con base en el modelo económico de D. Yogi Goswami”*, en Bogotá-Colombia, y establece como objetivo general evaluar la favorabilidad económica de sistemas fotovoltaicos en Colombia, a partir de la optimización de la inversión en función de las condiciones de demanda y la irradiación solar con base en el modelo económico de Yogi Goswami. Se dimensiona un sistema fotovoltaico para conocer la energía eléctrica generada que pueda suplir el consumo energético de acuerdo con las características de demanda de edificaciones colombianas de vivienda. Se aplica el modelo matemático de Yogi Goswami, bajo las características

y condiciones de las zonas de estudio, para establecer la evaluación económica del sistema fotovoltaico. [4]

Abrao Paschoareli & Silva Lourenco (2017) durante el Conferencia internacional sobre investigación y aplicaciones de energía renovable realizado en San Diego, CA, USA (Nov, 2017) presentan el tema “*Economic viability of installations of photovoltaic microgeneration in residencies of a Smart city*”. Estudio realizado en Brasil y establece un análisis de viabilidad económica del sistema fotovoltaico en sistemas de distribución de baja tensión. Para demostrar la viabilidad en la instalación de un sistema fotovoltaico en una residencia se consideran varios insumos diferentes, tales como es el costo del sistema fotovoltaico, tarifa de energía, consumo promedio mensual y anual de un consumidor residencial, generación diaria, mensual y anual de un consumidor residencial, valores medios impuestos, irradiación solar para mejorar el rendimiento de los paneles solares. El costo de la instalación de un sistema fotovoltaico para un consumidor residencial brasileño, en red monofásica, con un consumo promedio anual de 339 kWh es de aproximadamente US \$5300. El sistema fotovoltaico consta de 10 paneles de 255 Wp, considerando el 83% de eficiencia total, inversor, cables, conectores y mano de obra de instalación. [5]

Pereira, ML & Sousa JRB (2017) miembros de IEEE, en su publicación “*Monitoring Systems Used in Photovoltaic Microgeneration: A Review*”. Se describe el desarrollo de un sistema de adquisición centro de datos dedicado a la monitorización de variables eléctricas y climáticas que permiten evaluar los principales parámetros asociados con el comportamiento de un sistema fotovoltaico. De igual manera, se describe otro sistema de diagrama eléctrico del sistema monitoreado y los valores medidos por sensores de corriente y de voltaje. Es posible la visualización de fallas y gráficas de microgeneración. Según el estudio realizado se establece que el sistema funcionó correctamente y demuestra que si es posible utilizar equipos tecnológicos abiertos para la monitorización de microgeneración fotovoltaica. Cuenta con una interfaz amigable, donde el PLC maestro recopila toda la información de parte de los PLC esclavos. [6]

Danielle Delgado, Mónica Carvalho, Luiz Moreira Coelho, Raphael Abrahao, Ricardo Chacartegui (2018), presentan el tema “*Photovoltaic solar energy in the economic optimisation of energy supply and conversion*”, realizado en Brasil específicamente en el hospital público federal del estado de Paraíba noreste de Brasil. Se consideraron datos de electricidad y el cálculo de las demandas de energía representativas para agua caliente, calefacción y refrigeración. La motivación para el uso de la energía solar fotovoltaica surge debido a la practicidad de su implementación y simple mantenimiento. Se formula un modelo de optimización basado en MILP y su solución proporciona información sobre todos los flujos de energía del sistema. La solución también proporciona el resultado de una evaluación económica, seleccionando la mejor configuración del sistema (tipo y número de equipos instalados) y la estrategia operativa (cómo operar cada equipo). La función objetivo minimizó los costos totales anuales; costos fijos (inversión inicial en equipos) y costos variables (compra de recursos energéticos para satisfacer las demandas, más costos de operación y mantenimiento). [7]

Iakovleva Emilia, Guerra Daniel, Tcvetkov Pavel & Shklyarskiy Yaroslav, en su artículo denominado “*Technical and Economic Analysis of Modernization of Solar Power Plant: A case study from the Republic of Cuba*”. Se realiza un análisis de las variables climáticas de la región de Santiago de Cuba, identificando los parámetros que más contribuyen a la generación de energía eléctrica. Plantea el desarrollo de un modelo matemático e informático de la planta solar en el software MATLAB Simulink, teniendo en cuenta las variables climáticas identificadas, seguido de una simulación de la generación eléctrica de la planta solar. El análisis técnico de diferentes sistemas de seguimiento solar. Modificación de la estructura del modelo de la planta solar (aplicación del sistema de seguimiento solar) y realización de la simulación. Análisis técnico de módulos fotovoltaicos, transformadores e inversores disponibles comercialmente, teniendo en cuenta la posibilidad de adquirir algún componente en particular en Cuba. Determinación del modelo óptimo de un módulo solar y cálculo del número requerido de paneles, así como determinación del método de su instalación. Selección de escenarios de modernización. [8]

1.2.Fundamentación Teórica

1.2.1. Energía Solar

El sol es la fuente de energía de la Tierra; se recibe en forma de radiación que es retenida en la atmósfera y permite que el Planeta Tierra mantenga una temperatura casi constante que posibilita la existencia de vida.

La energía solar es una energía renovable, y, por lo tanto, inagotable y limpia. La radiación solar que alcanza la Tierra ha sido aprovechada por el ser humano desde la antigüedad, mediante diferentes tecnologías que han ido evolucionando.[9]

1.2.2. Radiación Solar

El sol es la estrella que se encuentra a una temperatura media de 5500°C, la energía liberada por el sol que se produce por la pérdida de masa, se transmite al exterior mediante la denominada radiación solar. [4]

La radiación solar desempeña un papel fundamental e importante para el desarrollo del ser humano ya que se encuentra involucrado en los procesos naturales de crecimiento de las plantas, regeneración de vegetación, etc.

A la Tierra llega aproximadamente solo el 1/3 de la energía total interceptada por la atmósfera, y de esto el 70% cae en el mar. [10]

1.2.2.1.Tipos de Radiación Solar

Según la función de cómo incide los rayos solares sobre la Tierra se determina en la Tabla 2 los tipos de radiación solar.

Tabla 2 Tipos de Radiación solar

| | |
|--------------------------------|--|
| Radiación solar directa | Es la radiación recibida desde el Sol sin que se desvíe en su paso por la atmósfera |
| Radiación solar Difusa | Es la que sufre cambios en su dirección principalmente debidos a la reflexión y difusión en la atmósfera |
| Radiación solar Global | Es la radiación directa y difusa que se recibe por reflexión en el suelo u otras superficies próximas |

Fuente: [2]

La radiación directa es la mayor y más importante en las aplicaciones fotovoltaicas.[11]

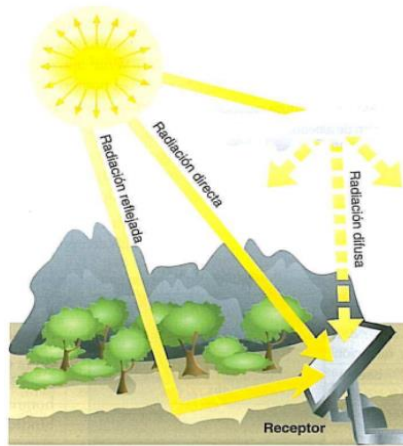


Figura 1 Tipos de radiación sobre una superficie

Fuente: [11]

1.2.3. Condiciones meteorológicas

En un día nublado la radiación es prácticamente difusa, mientras que en día soleado es directa. Una superficie horizontal recibe la máxima radiación difusa y la mínima reflejada. Las superficies claras son las más reflectantes por lo que la radiación reflejada aumenta en invierno por el efecto de la nieve.[11]

1.2.4. Movimiento del Sol

El Sol recorre trayectorias diferentes dependiendo de la estación del año. Para conocer el movimiento del Sol se utiliza el sistema de coordenadas con dos ángulos. [12]

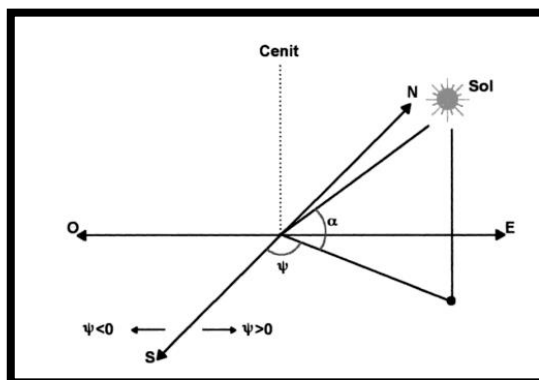


Figura 2 Posicionamiento del Sol

Fuente: [12]

La altura solar es el ángulo (α) formado por la posición aparente del Sol en el cielo con la horizontal del lugar.

El azimut solar es el ángulo (ψ) horizontal formado por la posición del Sol y la dirección del verdadero sur. [13]

1.2.5. Energía Fotovoltaica

La energía solar fotovoltaica es la tecnología en energía renovable que genera corriente continua (potencia medida en vatios o kilovatios) por medio de semiconductores cuando éstos son iluminados por un haz de fotones. Mientras la luz incide sobre la célula solar, que es el nombre dado al elemento fotovoltaico individual, se genera potencia eléctrica; cuando la luz se extingue, la electricidad desaparece. Las células solares no necesitan ser cargadas como las baterías. [14]

1.2.6. Sistemas Fotovoltaicos.

Un sistema fotovoltaico tiene la misión de convertir la luz solar en electricidad en base al efecto fotoeléctrico que es una propiedad que posee algunos materiales para absorber fotones y emitir electrones, los mismos que producen una corriente eléctrica. A continuación, en la Figura 3 se presenta el funcionamiento de un módulo fotovoltaico. [14]

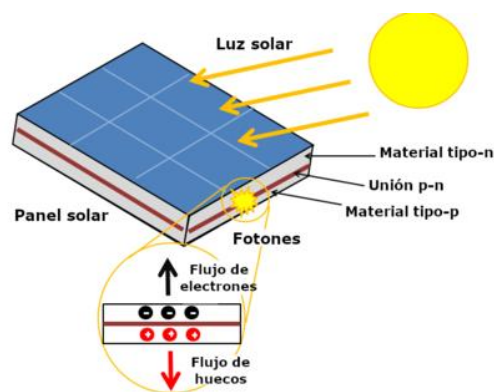


Figura 3 Funcionamiento de un módulo fotovoltaico.

Fuente: [14]

1.2.6.1. Sistemas aislados

Los sistemas fotovoltaicos aislados suelen presentarse como una alternativa energética viable para zonas lejanas de la red eléctrica tradicional, donde son diseñados para funcionar fuera de la red, utilizan energía solar para generar

electricidad para satisfacer las necesidades energéticas. A continuación, en la Figura 4 se muestra el esquema de un sistema fotovoltaico aislado. [9]

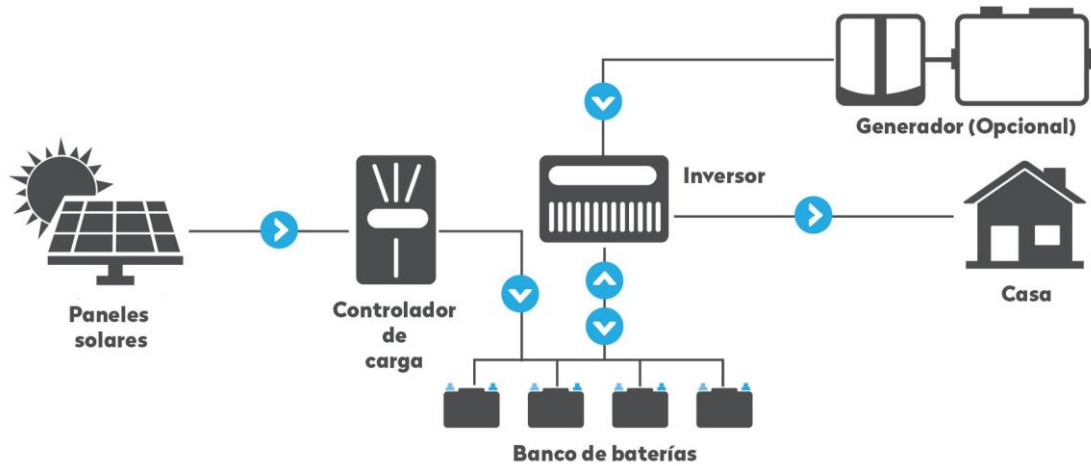


Figura 4 Sistema fotovoltaico aislado

Fuente: [9]

1.2.6.2. Sistemas conectados a la red

Un sistema solar conectado a la red es un sistema fotovoltaico que consiste básicamente de generadores fotovoltaicos conectado a un inversor que opera de manera paralela a la red eléctrica conocida. Mediante esta configuración lo que se busca es abastecer la demanda total o parcial de energía que necesita el usuario y los excedentes de energía producidos por el sistema son inyectados a la red pública como se observa en la Figura 5.[9]

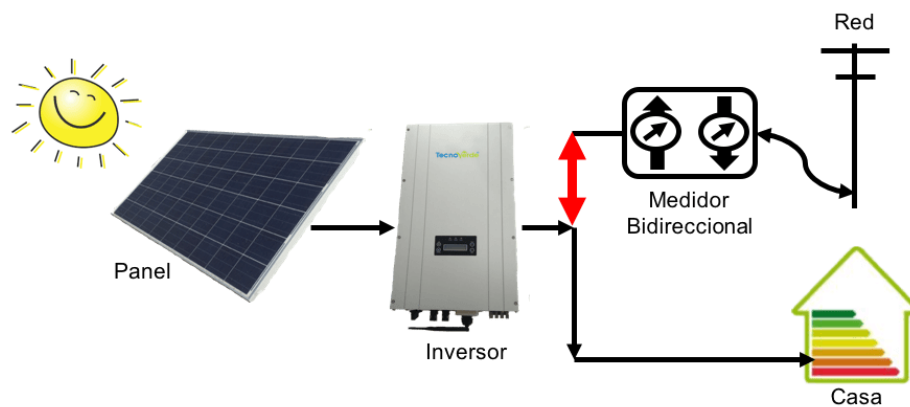


Figura 5 Sistema interconectado a la red de distribución

Fuente: [9]

1.2.6.3.Sistema híbrido

Un sistema de generación fotovoltaica híbrido permite consumir su propia energía eléctrica, reduciendo significativamente la dependencia de la red eléctrica tradicional. En la Figura 6 se detalla la conexión de un sistema fotovoltaico híbrido.[9]

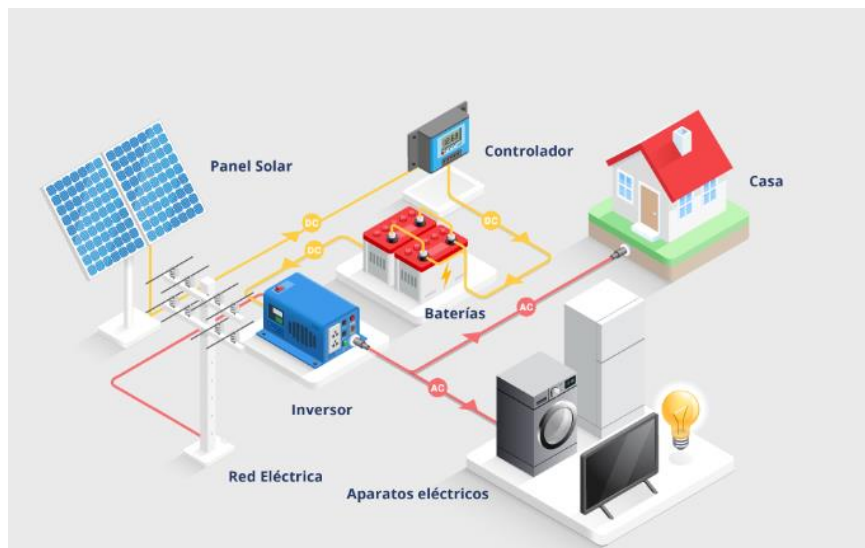


Figura 6 Sistema fotovoltaico híbrido

Fuente: [9]

1.2.7. Aplicación de la energía fotovoltaica

Aunque la energía solar fotovoltaica se considera una forma cara de producir energía es, muy a menudo, en aplicaciones aisladas de la red, la solución más económica de suministro eléctrico. El crecimiento del mercado mundial indica que la electricidad solar ha penetrado en muchas áreas en las que es económicamente viable. [13]

1.2.8. Módulos fotovoltaicos

Los módulos fotovoltaicos es un conjunto de celdas solares conectadas entre sí de tal manera que este pueda tener ciertas características de voltaje y corriente que satisfaga cierta carga que se ubique en sus terminales, su función es captar y convertir la radiación solar en corriente eléctrica. Estos dispositivos se pueden conectar en serie o en paralelo. [15]

1.2.9. Componentes de los Sistemas Fotovoltaicos

1.2.9.1. Panel Fotovoltaico

La unidad básica de un sistema fotovoltaico es la célula solar que es una unión P-N con dos terminales en los extremos que permiten la conexión de tipo circuito eléctrico y que está encargada de recibir la radiación solar y convertirla en electricidad de tipo directa DC.[4]

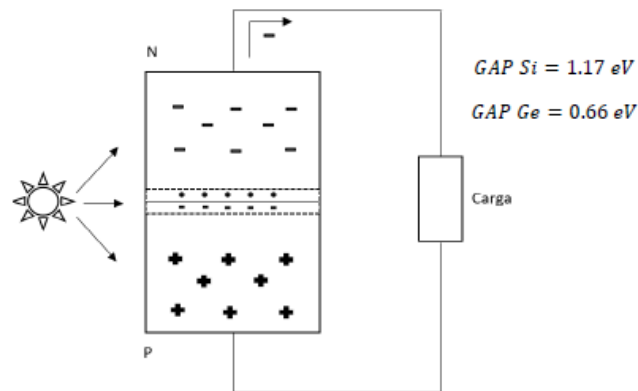


Figura 7 Diagrama de Panel Fotovoltaico. Principio básico de funcionamiento de un panel fotovoltaico

Fuente: [4]

1.2.9.2. Generador Fotovoltaico

Un generador fotovoltaico es una asociación eléctrica de módulos fotovoltaicos para adaptarse a las condiciones de funcionamiento de una aplicación determinada. Se compone de un total de $Np \cdot Ns$ módulos, siendo Np el número de ramas y Ns el número de módulos en cada serie. [15]

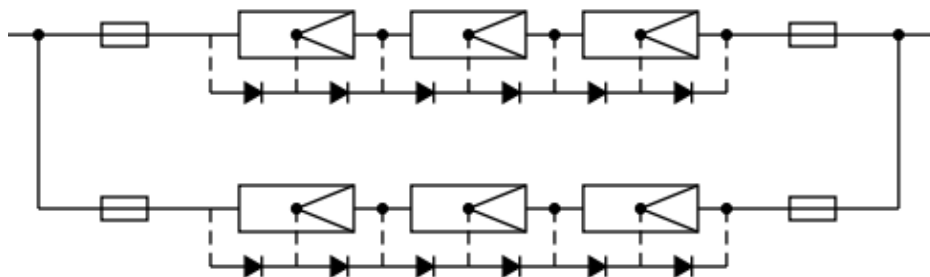


Figura 8 Esquema de un generador fotovoltaico compuesto por 2 ramas de 3 módulos en serie.

Fuente: [15]

1.2.9.3. Baterías

En los sistemas fotovoltaicos las baterías o acumuladores se utilizan principalmente como módulo de almacenamiento energético. Estos dispositivos son capaces de acumular la energía que no se consume al instante de ser producida y que suplen electricidad en condiciones nocturnas o donde el módulo fotovoltaico no se encuentra generando la cantidad suficiente de energía para reemplazar el consumo. Las baterías consisten en celdas varias celdas individuales electroquímicas con ánodo y cátodo que almacenan la energía de tipo DC generada por el módulo solar y cada una presenta un voltaje nominal de celda de 2V en general.[16]

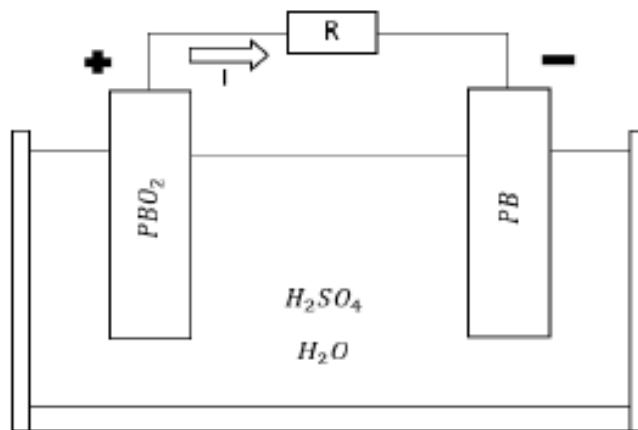


Figura 9 Esquema de Batería. Principio básico de funcionamiento de una batería

Fuente: [16]

Las baterías cuentan con los siguientes parámetros comerciales, las mismas que se detallan en la Tabla 3.

Tabla 3 Parámetros comerciales de las baterías

| | |
|--------------------------------|--|
| VOLTAJE | Voltajes nominales 2,6,12,24,48 voltios |
| DÍAS DE AUTONOMÍA | Capacidad del sistema de acumulación de entrega de energía sin recibir energía por el sistema fotovoltaico |
| PROFUNDIDAD DE DESCARGA | Porcentaje de carga que se resta de la batería en un ciclo completo sea para carga o para descarga. |
| CAPACIDAD | Se mide en Ah y se refiere a la energía necesaria de operación de la batería |

| | |
|------------------|---|
| VIDA ÚTIL | Tiempo en años o en ciclos que la batería es capaz de trabajar óptimamente. |
|------------------|---|

Fuente: [16]

Las baterías también se pueden conectar en serie o en paralelo para cumplir con los requerimientos de voltaje o corriente, se les conoce como bancos de baterías. En los Sistemas fotovoltaicos las baterías previamente dependen de un sistema de regulación de carga.[16]

1.2.9.4.Reguladores

En la gran mayoría de los sistemas fotovoltaicos con baterías es necesario un sistema de regulación de carga.

El principio de funcionamiento de un regulador es controlar la carga de las baterías midiendo la tensión en los bornes de conexión de la batería y a partir de la medida se implementa una acción de control adecuada.

Este dispositivo, a pesar de su sencillez y su bajo costo comparado con el costo total del sistema, es fundamental para proteger la vida útil de la batería y mejorar el funcionamiento del sistema fotovoltaico.[9]

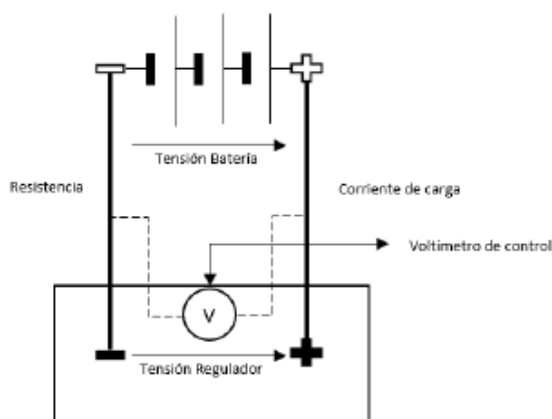


Figura 10 Esquema de un Regulador. Principio básico de funcionamiento de un Regulador

Fuente: [9]

Se determina las principales funciones de un regulador de carga de un sistema fotovoltaico.

Proteger a la batería de acumuladores contra la sobredescarga, limitando la tensión de fin de carga.

Proteger a la batería de acumuladores contra la sobrecarga, limitando la tensión de fin de carga.

Evitar la descarga nocturna de la batería de acumuladores sobre el generador fotovoltaico. [9]

1.2.9.5. Inversores

El inversor es un dispositivo cuya función es convertir la corriente continua producida por el generador fotovoltaico en corriente alterna con los parámetros adecuados de tensión y frecuencia. En Ecuador se suele usar un voltaje en los hogares de 120 V y una frecuencia de 60 Hz.

Los inversores son comercializados por las características de la onda sinusoidal producida, la corriente de arranque exigida por la carga y la eficiencia valorada con respecto a la distorsión armónica, cambiando consigo el precio y la calidad del producto. La selección del inversor también dependerá si es para un sistema aislado o interconectado.

Dentro los inversores en sistemas aislados se encuentran los de onda pura y onda modificada, los cuales se diferencian por el comportamiento de la corriente en el tiempo, como se aprecia en la Figura 11. [14]

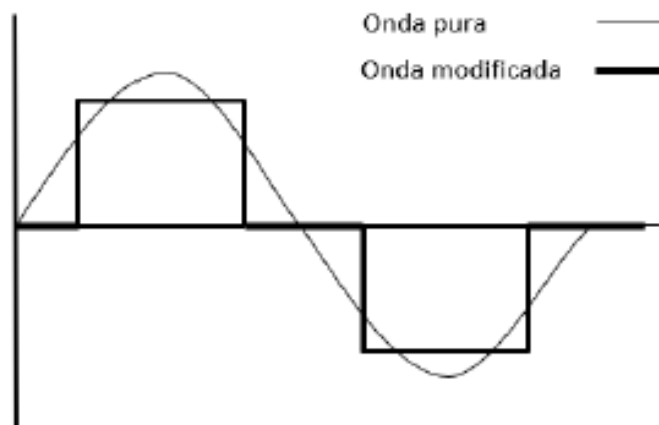


Figura 11 Principio básico de funcionamiento de un Inversor.

Fuente: [14]

Por lo tanto, un inversor aislado debe cumplir con las siguientes características en base a sus parámetros:

Potencia nominal en base a las cargas que se encuentran en el hogar, contando con un factor de protección al arranque.

Protección al cortocircuito, desconexión del sistema de baterías y sobrecargas.

Alta eficiencia en la conversión de DC en AC y suavizar sobre picos de salida.

Funcionamiento óptimo en las condiciones ambientales dadas y confianza en bajo mantenimiento a corto plazo. [9]

1.2.9.6.Cableado del sistema solar fotovoltaico

El cableado en un sistema solar fotovoltaico es considerado como una parte de gran importancia para la instalación y conexión de paneles solares, inversores y los demás componentes del sistema.

Para la selección del cableado del sistema hay que tener en cuenta la potencia del sistema, la distancia entre los componentes del sistema y las condiciones ambientales.[14]

1.2.9.7.Equipo de protección y maniobra

Los sistemas solares fotovoltaicos requieren equipos de protección y maniobra, los mismos que garantizan su correcto funcionamiento, seguridad y eficiencia.[14]

Se detalla los principales equipos de protección y maniobra que se utiliza:

Protección contra sobretensiones.

Protección contra cortocircuitos y sobrecargas.

Maniobras y control

1.2.9.8.Sistema de puesta a tierra

La puesta a tierra en un sistema solar fotovoltaico sirve para proteger a las personas y a los equipos del sistema de descargas eléctricas producidas por rayos, cortocircuitos o fallas en el aislamiento. [9]

1.2.10. Regulación ARCERNNR-001/2021

La regulación ARCERNNR-001/2021 se denomina como “Marco normativo de la generación distribuida para autoabastecimiento de consumidores regulados de

energía eléctrica”, fue expuesta por la Agencia de Regulación y control de energía y recursos naturales no renovables donde se establece las disposiciones para todo el proceso de habilitación, conexión, instalación y operación de los sistemas de generación distribuida de las fuentes de energía renovable para el autoconsumo de aquellas entidades que instalen y operen algún tipo de generación distribuida para autoabastecimiento, sincronizados a la red de distribución. [17]

1.2.10.1. Sistema de generación distribuida para el autoabastecimiento de consumidores regulados (SGDA)

En la regulación ARCERNR-001/2021 se establece que un sistema de generación distribuida para autoconsumo de consumidores regulados (SGDA) es un grupo o conjunto de equipos que produce o genera energía eléctrica a partir de un recurso energético distribuido para autoabastecimiento de la demanda de energía eléctrica. [17]

Medición de la energía eléctrica

La empresa distribuidora instalará en el punto un medidor bidireccional, el mismo que registra el consumo neto de energía por parte del consumidor.

Categorías tarifarias

La categoría tarifaria viene determinada por cada empresa distribuidora, según las características de cada usuario y conforme al pliego tarifario vigente.

Niveles de voltaje

Corresponde al nivel de voltaje en el punto de entrega del consumidor regulado.

Tabla 4 Niveles de voltaje en el punto de entrega del consumidor regulado

| Nivel de Voltaje - NV | GRUPO | Voltaje de suministro en el punto de entrega |
|------------------------------|--------------|---|
| Bajo | | menor o igual a 0,6Kv |
| Medio | | mayor a 0,6 y menor igual a 40Kv |
| Alto | Grupo 1- AV1 | mayor a 40 y menor igual a 138 Kv |
| | Grupo 2- AV2 | mayor a 138 Kv |

Fuente: [17]

En la siguiente Tabla 5 se esquematiza las categorías tarifarias y los niveles de voltaje.

Tabla 5 Categoría tarifarias y los niveles de voltaje

| Categoría | Nivel de Voltaje-NV | Grupo de consumo | Registro de demandas | |
|---|------------------------------|----------------------------------|-----------------------------|----------------------------------|
| Residencial | Bajo voltaje -BV NV<600 V | Residencial | Sin demanda | |
| General | | Comercial | | Sin demanda |
| | | | | Con demanda |
| | | | | Con demanda horaria |
| | | | | Sin demanda |
| | | Industrial | | Con demanda |
| | | | | Con demanda horaria |
| | | | | Sin demanda |
| | | | | Con demanda |
| | | Otros (*) | | Con demanda horaria |
| | | | | Con demanda horaria diferenciada |
| Comercial | | | Con demanda | |
| Industrial | | | | |
| Otros (*) | | | | |
| Medio Voltaje -MV 600 V≤NV≤40kV | Comercial | Con demanda horaria | | |
| | Otros (*) | | | |
| | Industrial | Con demanda horaria diferenciada | | |
| | Comercial | Con demanda horaria | | |
| | Otros (*) | | | |
| Alto voltaje -AV AV1:40 kV≤NV≤138kV | Comercial | Con demanda horaria | | |
| | Otros (*) | Con demanda horaria diferenciada | | |
| | Industrial | | | |
| AV2: NV>138kV | Industrial | | | |

Fuente: [17]

1.2.11. Factor de Planta

El factor de planta de un sistema fotovoltaico (PV) es una medida importante que refleja la eficiencia con la que el sistema convierte la energía solar disponible en energía eléctrica utilizable. Este factor se calcula dividiendo la cantidad real de energía generada por el sistema durante un período específico entre la cantidad de energía que el sistema podría haber generado si hubiera operado a su capacidad nominal total durante todo ese período.[10]

El factor de planta de un sistema fotovoltaico se expresa como:

$$Factor\ de\ planta = \frac{Energía\ Real\ Generada}{Energía\ potencial\ máxima} \quad (1)$$

Donde:

Energía Real Generada: Es la cantidad de energía eléctrica que el sistema fotovoltaico realmente produce en un período determinado.

Energía potencial máxima: Es la cantidad de energía que el sistema podría haber generado si hubiera operado continuamente a su capacidad nominal total durante el mismo período.

1.2.12. Análisis financiero

Se busca la rentabilidad del proyecto mediante la búsqueda de la rentabilidad, el costo de la energía y la inversión del proyecto. Estos análisis se pueden esclarecer con los conceptos de la Tasa Interna de Retorno (TIR) y el Valor Actual Neto (VAN) que dan una estimación del proyecto.[18]

1.2.12.1. Valor actual neto (VAN)

El Valor Actual Neto (VAN) es un indicador económico fundamental en la evaluación de proyectos de energía renovable (RE), permitiendo comparar el valor presente de una serie de flujos de caja futuros derivados de la inversión inicial. La importancia del VAN radica en su capacidad para considerar el valor del dinero en el tiempo, ofreciendo una medida integral de la viabilidad financiera y la rentabilidad de los proyectos. [19]

En el contexto de las energías renovables, el cálculo del VAN es particularmente crítico debido a las características únicas de estos proyectos, incluidos los altos costos iniciales y los largos períodos de recuperación de la inversión. La financiación de los costos incrementales es un aspecto crucial para la implementación exitosa de proyectos de energía renovable.

1.2.12.2. Tasa interna de retorno.

La TIR es un indicador que permite calcular el porcentaje de retorno o beneficio que se espera obtener de una inversión a lo largo del tiempo, considerando el valor del dinero en el tiempo. En el caso de los sistemas fotovoltaicos, esta tasa se convierte en un elemento determinante para la toma de decisiones, tanto para

inversores privados como para políticas públicas orientadas a fomentar el uso de energías limpias.[20]

El análisis económico de los sistemas fotovoltaicos revela que la producción de energía renovable no solo es beneficiosa para el medio ambiente, sino que también puede ser económicamente viable. Es importante destacar que la generación de energía fotovoltaica está influenciada por diversos factores, tales como la localización geográfica, las condiciones meteorológicas y la eficiencia de los paneles solares. Estos factores deben ser cuidadosamente considerados al calcular la TIR, ya que tienen un impacto directo en la cantidad de energía producida y, por ende, en los ingresos generados por la venta de esta energía. [21]

1.2.13. Costo nivelado de la Energía (LCOE).

El costo nivelado de la energía (LCOE), es un número clave para evaluar el costo total de la generación de electricidad durante la vida útil de una planta de energía.

Se expresa en unidades de costo por kilovatio hora (kWh) y se considera la métrica económica básica para comparar diferentes tecnologías de producción de energía.[22]

LCOE representa el precio promedio al que se debe vender la electricidad producida por una instalación para cubrir todos los costos asociados con la construcción, operación y desmantelamiento.

1.2.13.1. Cálculo del LCOE.

Al calcular el costo de generación de energía, se tiene en cuenta todos los costos incurridos durante la vida útil del sistema, incluidos:

Inversión inicial: Costos de construcción, instalación y equipamiento de la planta.

Costos operativos: Combustible, mano de obra, mantenimiento, seguros y otros gastos operativos.

Financiación: Costos de intereses asociados al financiamiento de la inversión inicial.

Impuestos: Impuestos pagados sobre la renta, la propiedad y otros impuestos aplicables.

Valor residual: Valor de la planta al final de su vida útil.

El LCOE particular es calculado por la división entre la sumatoria de los costos de tal proyecto a lo largo de su vida y la sumatoria de la energía producida en el mismo período como se determina mediante la Ecuación 2. [22]

$$LCOE = \frac{\sum_{t=1}^n \frac{CAPEX + OPEX_t}{(1+r)^t}}{\sum_{t=1}^n \frac{E_t}{(1+r)^t}} \quad (2)$$

Donde:

$CAPEX$ = Costo inicial del sistema

$OPEX_t$ = Costos operativos y de mantenimiento.

E_t = Energía eléctrica generada en un período t

r = Tasa de descuento

n = Vida estimada del proyecto

1.2.14. Optimización matemática.

Se establece los parámetros técnicos, financieros y tributarios para plantear el modelo en este trabajo, se puede aplicar una optimización matemática formulando una función objetivo.

Para este trabajo se plantea establecer una programación lineal para la formulación del problema ya que permite representar la realidad en ecuaciones matemáticas y existen varios métodos de resolución.[4]

1.2.15. Optimización de micro redes.

La optimización de micro redes es un ámbito de estudio que ha logrado relevancia en los últimos años debido a su potencial para mejorar la eficiencia energética, confiabilidad y la sostenibilidad de los sistemas de distribución de energía. Estas estrategias de optimización pretenden incrementar la eficiencia energética, reducir

la emisión de gases contaminantes y reducir el coste operacional de los elementos de generación. [2]

1.2.15.1. Técnicas de optimización para la gestión de la energía en la micro red.

Las micro redes se establecen como una solución tecnológica innovadora frente a los retos de eficiencia, sostenibilidad y confiabilidad en la distribución de la energía eléctrica. La planificación y operación óptima de las micro redes requiere el desarrollo e implementación de estrategias y algoritmos de optimización avanzados que permitan la gestión eficiente de la demanda de energía. [3]

1.2.15.2. Despacho económico

Para iniciar el estudio del despacho económico principalmente para las micro redes conectadas a la red principal se pretende buscar la optimización de la función de coste objetivo.

1.2.16. Programación lineal

1.2.16.1. Importancia de la programación en línea.

La importancia de la programación lineal es que permite tomar decisiones objetivas, optimiza procesos y recursos, la eficiencia aumenta y se encuentran soluciones innovadoras. [3]

Toma de decisiones

Se puede tomar decisiones basadas en datos y de manera objetiva, ya que se utilizan modelos matemáticos que establecen la situación a resolver de manera clara y se trata de encontrar la posible mejor solución. [3]

Optimización

En la programación lineal es muy importante optimizar procesos y recursos ya que al encontrar la mejor y óptima solución se puede minimizar los costos y maximizar las ganancias. [3]

Eficiencia

En la programación lineal se busca hacer un uso más eficiente de los recursos ya que se planifica y asigna los recursos de manera óptima. [3]

Innovación

El objetivo principal es encontrar soluciones innovadoras que permitan resolver problemas complejos. [3]

1.2.16.2.Pasos para realizar una programación lineal.

Para realizar una programación lineal se debe realizar los siguientes pasos que se detalla a continuación.

Definir el problema

Es de suma importancia establecer e identificar el problema que se desea resolver, qué objetivo se debe cumplir y que restricciones se pueden presentar.[23]

Identificar las variables

Hay que recordar que las variables son las incógnitas que se requieren encontrar en el problema y de igual manera es de gran importancia esclarecer cuales son las variables más relevantes para el problema.

- Formular la función objetivo
- Establecer las restricciones
- Representar el problema en forma de sistema de ecuaciones lineales
- Resolver el sistema de ecuaciones lineales
- Interpretar la solución

Una vez establecida y encontrada la solución óptima del problema, es necesario revisar y determinar si al modelo hay que ajustar o inclusive volver a resolverlo si los resultados no cumplen como se esperaba. [23]

1.2.17. Software AMPL

AMPL (A Mathematical Programming Language) es un lenguaje de modelado algebraico utilizado principalmente en la optimización matemática y se ha convertido en una herramienta clave para la formulación y resolución de problemas complejos de optimización en diversas áreas como la investigación de operaciones, la ingeniería, la economía y la gestión de la cadena de suministro.[24]

1.2.17.1. Características Principales

Lenguaje de Alto Nivel: AMPL permite a los usuarios describir problemas de optimización en términos algebraicos que son cercanos al lenguaje matemático tradicional. Esto facilita la comprensión y la modificación de los modelos.

Flexibilidad: AMPL es capaz de manejar una amplia variedad de problemas de optimización, incluyendo programación lineal, programación entera, programación cuadrática y programación no lineal. Esta flexibilidad lo hace adecuado para una multitud de aplicaciones prácticas.

Interfaz con Solvers: AMPL está diseñado para trabajar con diversos solvers (resolutores) que ejecutan los algoritmos necesarios para encontrar soluciones óptimas a los modelos formulados. Entre los solvers más comúnmente utilizados con AMPL se encuentran CPLEX, Gurobi y KNITRO.

Entorno Interactivo: AMPL proporciona un entorno interactivo que permite a los usuarios ejecutar comandos y recibir retroalimentación inmediata. Esto es particularmente útil durante la fase de desarrollo y prueba de modelos.

Capacidades de Preprocesamiento y Post procesamiento: AMPL incluye funciones robustas para el preprocesamiento de datos de entrada y el análisis de resultados. Esto facilita la preparación de datos y la interpretación de las soluciones obtenidas.

SopORTE para Grandes Modelos: AMPL está optimizado para manejar modelos de gran tamaño, lo que lo hace adecuado para aplicaciones industriales y de investigación que involucran un gran número de variables y restricciones.[24]

1.2.17.2. Aplicaciones

Planificación y Programación de la Producción: Optimización de los recursos y programación de las actividades de producción para minimizar costos o maximizar la eficiencia.

Gestión de la Cadena de Suministro: Diseño y optimización de redes de suministro, incluyendo la selección de proveedores y la gestión de inventarios.

Finanzas y Economía: Modelos de optimización para la gestión de carteras de inversión, análisis de riesgos y planificación económica.

Energía y Servicios Públicos: Optimización de la generación y distribución de energía, así como la gestión de redes de servicios públicos.[24]

1.3.Fundamentación Metodológica

En el Ecuador y estratégicamente en el sector avícola el uso de generación eléctrica no convencional es muy limitado a pesar del cambio de la matriz energética.

El presente proyecto comprendió y analizó la factibilidad de efectuar el desarrollo de un modelo técnico económico para la optimización de inversiones en micro generación fotovoltaica en la avícola Damiancito, la cual enmarcó una investigación cuantitativa.

1.3.1. Enfoque

Se presenta el desarrollo del análisis que determina la factibilidad que la avícola Damiancito instale sistemas fotovoltaicos para autoconsumo de energía eléctrica, optimizando la inversión que se va a realizar.

Se establece como inicio un análisis técnico que evalúa las diferentes tecnologías existentes en el mercado ecuatoriano y que se ajuste sus parámetros nominales en función al lugar a instalar, y además realizar el dimensionamiento del sistema fotovoltaico en función a los índices de irradiación solar.

Luego, en el estudio se define las curvas de demanda, el recurso solar disponible y las condiciones climáticas, y un análisis económico que permite evaluar los costos involucrados para generar energía eléctrica, y de esta formar determinar si la estructura eléctrica establecida alcanza una rentabilidad óptima.

De esta manera, se estableció los diferentes componentes como parámetros conforme a lo que se propuso. [2]

1.3.2. Tipo de investigación

Los tipos de investigación utilizados son: documental y campo, ya que se necesitó distintos análisis relacionados con estudios de micro generación fotovoltaica, fuentes textuales al igual que compilación de datos.

1.3.3. Técnica de recolección de información

Los tipos de investigación utilizados son: documental y campo, ya que se necesitó distintos análisis relacionados con estudios de micro generación fotovoltaica, fuentes textuales al igual que compilación de datos.

1.3.3.1. Procedimientos empleados para la obtención y análisis de la información

Lectura comprensiva

La lectura comprensiva durante todo el desarrollo de la investigación estuvo presente en todo momento, debido a que la información del estudio se la relaciona con investigaciones de distintos autores y así lograr concretar una ideología común y llegar finalmente a la culminación del proyecto.

Sintetización e interpretación de información

Se adquiere información fundamentada contextualmente con el fin de realizar un análisis sobre la micro generación fotovoltaica y sus diferentes aspectos. Adicionalmente, se comprende y sintetiza de manera lógica y adecuada los resultados obtenidos de las diferentes mediciones y estudios realizados durante toda la ejecución del proyecto.

Observación

Es gran importancia usar la observación dentro del registro y estudio de los distintos parámetros que intervienen en la realización del proyecto, debido a la gran contribución que se obtiene durante el análisis del mismo.

Medición

La medición de las diferentes condiciones y parámetros es fundamental para establecer el dimensionamiento del sistema fotovoltaico, la demanda eléctrica de la avícola, radiación solar en el lapso de dos años, esto se logra gracias al uso de dispositivos e instrumentos de medición.

Cálculo

En el estudio se define las curvas de demanda, el recurso solar disponible y las condiciones climáticas; las mismas que contribuyen al dimensionamiento del

sistema y el análisis técnico económico e las diferentes tecnologías existentes en el mercado.

Simulación

Se aplica la técnica de simulación para establecer y conocer los resultados que se desea alcanzar en la optimización para la culminación del proyecto.

1.4. Conclusiones Capítulo 1

En el presente capítulo se establece los diferentes contenidos planteados bajo una rigurosa investigación al tema de estudio, la misma que se muestra las diferentes metodologías de optimización de diseño en sistemas fotovoltaicos y todos los aspectos que se debe considerar.

La investigación bibliográfica es una parte esencial en la elaboración de esta tesis, ya que permite recopilar información existente sobre el caso de estudio, con los trabajos de investigación previos mencionados.

Se ha establecido un marco teórico sólido que respalda la investigación; las teorías y conceptos presentados proporcionan un fundamento adecuado para entender el campo de estudio que es esencial para guiar la investigación y facilitar la interpretación de los resultados.

CAPÍTULO II. PROPUESTA.

2.1. Título del proyecto.

Desarrollo de un modelo de evaluación técnico Económico para la optimización de inversiones en Micro generación fotovoltaica en la granja avícola “Damiancito” en el cantón Pelileo, Provincia de Tungurahua.

2.2. Objetivo del proyecto.

Proporcionar una herramienta útil para la toma de decisiones en la implementación de sistemas de micro generación fotovoltaica en la granja avícola “Damiancito”, promoviendo la eficiencia energética, la reducción de costos operativos y la sostenibilidad ambiental.

2.3. Descripción de la propuesta.

En el trabajo de titulación presentado se formula el desarrollo de una evaluación técnico económica para la optimización de inversiones en micro generación fotovoltaica que se detallan a continuación:

Se presenta el desarrollo de un análisis que determinan la factibilidad de que el sector avícola instale sistemas fotovoltaicos para autoconsumo de energía eléctrica, optimizando la inversión para maximizar los beneficios económicos.

Se establece como inicio un análisis técnico que evalúa las diferentes tecnologías existentes en el mercado ecuatoriano y que se ajuste sus parámetros nominales en función al lugar a instalar, y además realizar el dimensionamiento del sistema fotovoltaico en función a los índices de irradiación solar.

Luego, en el estudio se define las curvas de demanda, el recurso solar disponible y las condiciones climáticas, y un análisis económico que permite evaluar los costos involucrados para generar energía eléctrica, y de esta formar determinar si la estructura eléctrica establecida alcanza una rentabilidad óptima.

Los medios que posibilitan la conversión de las energías renovables son diversos. Hay que recalcar la mejora de la eficiencia energética y la fácil adaptación a las condiciones del sitio a instalarse, lo que supone una mejor calidad del servicio y de la satisfacción de los consumidores.

2.4. Rentabilidad del proyecto

La rentabilidad del proyecto se establece al momento de la generación de utilidades (ganancia) para la avícola. También se considera la diversidad de inversiones que se puede hacer con ese recurso económico y que tan rentable es el proyecto y se considera las siguientes situaciones:

2.4.1. Viabilidad técnica

La viabilidad técnica consiste en determinar si es posible la ejecución del proyecto por la parte técnica entendida del tema. Se considera los siguientes aspectos: [2]

- Espacio físico disponible
- Infraestructura
- Costo de la energía
- Rendimiento del sistema

2.4.2. Viabilidad comercial

Es el análisis del mercado y la demanda del producto que será implementado. La diversidad de opciones del producto y que los precios sean razonables. Se considera lo siguiente: [2]

- Proveedores
- Costos de instalación

2.4.3. Viabilidad financiera

Se recoge los aspectos monetarios que permite la toma de decisiones en pro o en contra de la instalación del sistema fotovoltaico. [2]

2.4.4. Viabilidad administrativa

Se establece la capacidad de administrar el sistema fotovoltaico y conseguir los objetivos planteados.

- Se toma en cuenta de lo siguiente:
- Costo de operación y mantenimiento
- Técnica de administración del sistema fotovoltaico
- El personal que se requiere [2]

2.4.5. Viabilidad ambiental

La viabilidad ambiental busca esclarecer el impacto ambiental del proyecto. Se considera lo siguiente:

- Certificaciones ambientales
- Huella de carbono [2]

2.5. Metodología o procedimientos empleados para el cumplimiento de los objetivos planteados.

2.5.1. Descripción del usuario para el caso de estudio.

Para el desarrollo y elaboración de esta evaluación, se utilizará como caso de estudio a la planta avícola “Damiancito” ubicada en el Cantón Pelileo, en el caserío Huambalito de la parroquia Bolívar en la zona centro sur del país con coordenadas $1^{\circ} 22'20.8''\text{O}$ y $78^{\circ} 31'31.6''\text{S}$, una zona netamente rural, sin la presencia de edificaciones altas cerca que pudieran interferir mayormente en el rendimiento del sistema fotovoltaico.

Se toma como referencia el consumo de todos los meses del año 2023, como se muestra en la siguiente Tabla 6.

Tabla 6 Consumo mensual kWh durante el año 2023

| MESES (2023) | TOTAL [kWh] |
|--------------|-------------|
| Enero | 620 |
| Febrero | 434 |
| Marzo | 411 |
| Abril | 458 |
| Mayo | 574 |
| Junio | 404 |
| Julio | 510 |
| Agosto | 230 |
| Septiembre | 340 |

| | |
|-----------|-----|
| Octubre | 378 |
| Noviembre | 423 |
| Diciembre | 502 |



Figura 12 Consumo total de kWh Año 2023

2.5.2. Ubicación del sistema fotovoltaico

En la Figura 13 se puede observar la granja avícola “Damiancito” que se ubica a 7.5 Km de la vía Pelileo - Huambaló en la provincia de Tungurahua, donde se realiza el estudio del sistema fotovoltaico.



Figura 13 Ubicación de la Granja Avícola "Damiancito"

Fuente: Google Maps

2.5.3. Obtención de información meteorológica de irradiación mediante el software PVsyst.

PVsyst es un programa de ordenador ampliamente utilizado para el diseño de instalaciones fotovoltaicas. Este programa posee una amplia base de datos de los principales componentes usados en una instalación del mercado internacional y por si eso no fuera suficiente se pueden añadir nuevos. [25]

Entre las ventajas con las que cuenta el programa hay que destacar que posee una base meteorológica que permite dimensionar la instalación en función de su ubicación, calcular la inclinación y orientación óptima, y un diseño en 3D que permite calcular las pérdidas y producción ya que simula la orientación del sol. [25]

Para la obtención de la información meteorológica de irradiación global y difusa, y la latitud, longitud y altitud del lugar donde se va a ubicar la instalación. Se tomará como referencia el punto de estudio de la instalación fotovoltaica ubicado en Huambalito, parroquia Bolívar que pertenece al cantón Pelileo de la provincia de Tungurahua.

Hay que tomar en cuenta que el proyecto será híbrido ya que habrá meses donde el consumo de energía será menor a la producción de energía eléctrica que proporciona el sistema.

2.5.4. Selección de la ubicación de la instalación solar fotovoltaica.

La instalación fotovoltaica diseñada se encuentra en el caserío Huambalito de la parroquia Bolívar, cantón San Pedro de Pelileo, provincia de Tungurahua como se observa en la Figura 14.



Figura 14 Ubicación de la instalación fotovoltaica

Fuente: Google Maps

La instalación se encuentra ubicada dentro de los predios de la Avícola, en un terreno, que se encuentra cerca de la vía principal. El sector se encuentra a 2649 metros sobre el nivel del mar y tiene una temperatura anual de 13 grados centígrados; estos datos se explican en la Tabla 7.

Tabla 7 Ubicación geográfica de la avícola

| Instalación fotovoltaica | Latitud | Longitud | Elevación m.s.n.m | Temperatura media anual, °C |
|--|----------------|-----------------|--------------------------|------------------------------------|
| Instalación fotovoltaica conectada a red | 1°22'20.8"S | 78°31'31.6"O | 2649 | 13° |

2.5.5. Datos meteorológicos referenciales.

En la primera fase en el proceso de cálculo de producción de energía en una central solar fotovoltaica es la realización de un estudio de radiación solar. La evolución temporal de las condiciones operativas de funcionamiento de un dispositivo fotovoltaico de transformación directa de la energía solar en energía eléctrica se define por:

El valor de irradiancia efectiva en el plano incidente, $G_{ef}(I)$. El término irradiancia se refiere a la densidad instantánea de energía de la radiación solar en una superficie y se mide en W/m^2 .

El valor de la temperatura del módulo fotovoltaico, T_C .

La irradiancia y la temperatura dependen de las condiciones meteorológicas existentes en lugar de emplazamiento de la central solar, fundamentalmente de irradiancia horizontal en la superficie terrestre, $G_{hor}(0)$, y de la temperatura ambiente, T_{Amb} , que se establecen a partir de mediciones directas a largo plazo en estaciones meteorológicas terrestres, o de observaciones indirectas realizadas por satélites meteorológicos.[26]

En las Figura 15 y Figura 16 se presentan los valores mensuales y anuales de la irradiancia global y difusa horizontal, así como los valores promedios mensuales y anuales de la temperatura y velocidad del viento, extraídos de las bases de datos meteorológicos METEONORM, NASA, respectivamente, incluidos en el software de diseño solar PVsyst, en la localización seleccionada.

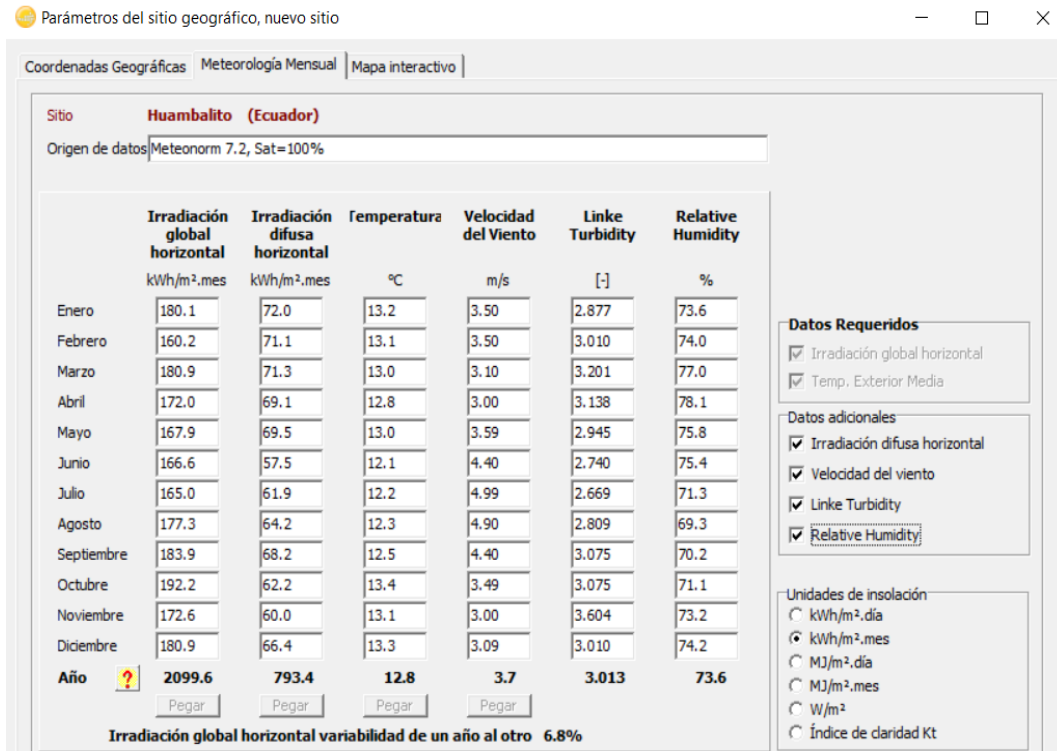


Figura 15. Valores mensuales de irradiación global y difusa horizontal de la base de datos METEONORM, software PVSYST.

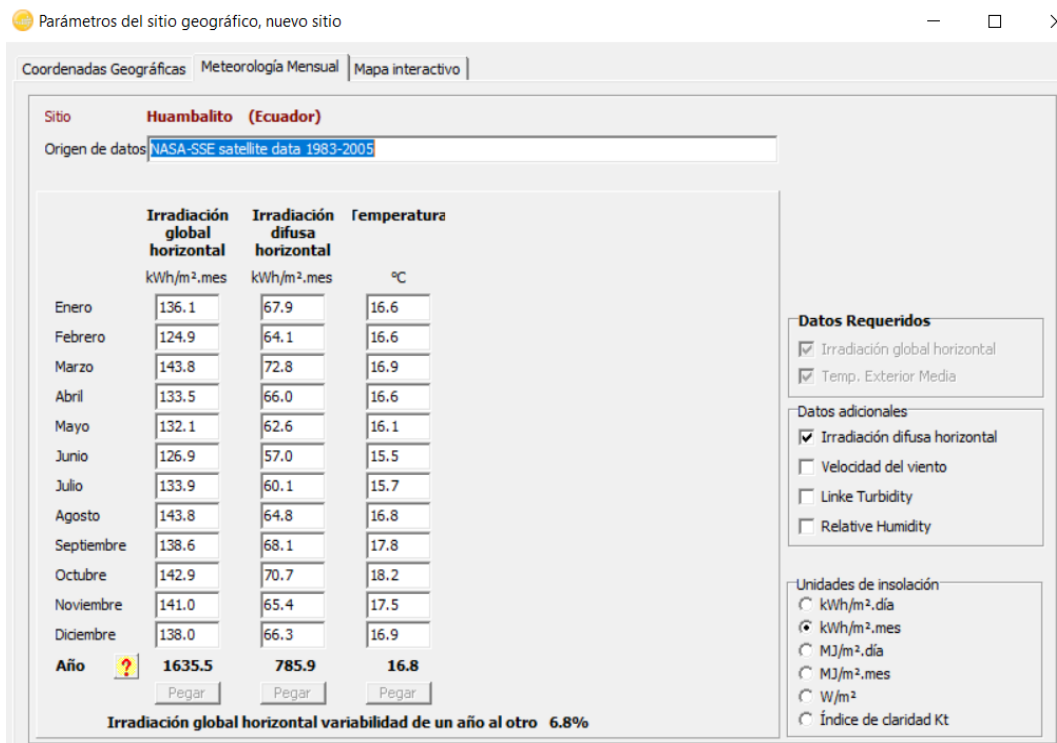


Figura 16 Valores mensuales de irradiación global y difusa horizontal de la base de datos NASA, software PVSYST.

Una vez importado los datos se puede observar los datos que dispone cada una de las bases de datos en el Anexo A. Se puede realizar una comparación de las diversas bases de datos y los datos proporcionados por las diversas instituciones de recursos renovables de cada país, como se muestra en la Figura 17.

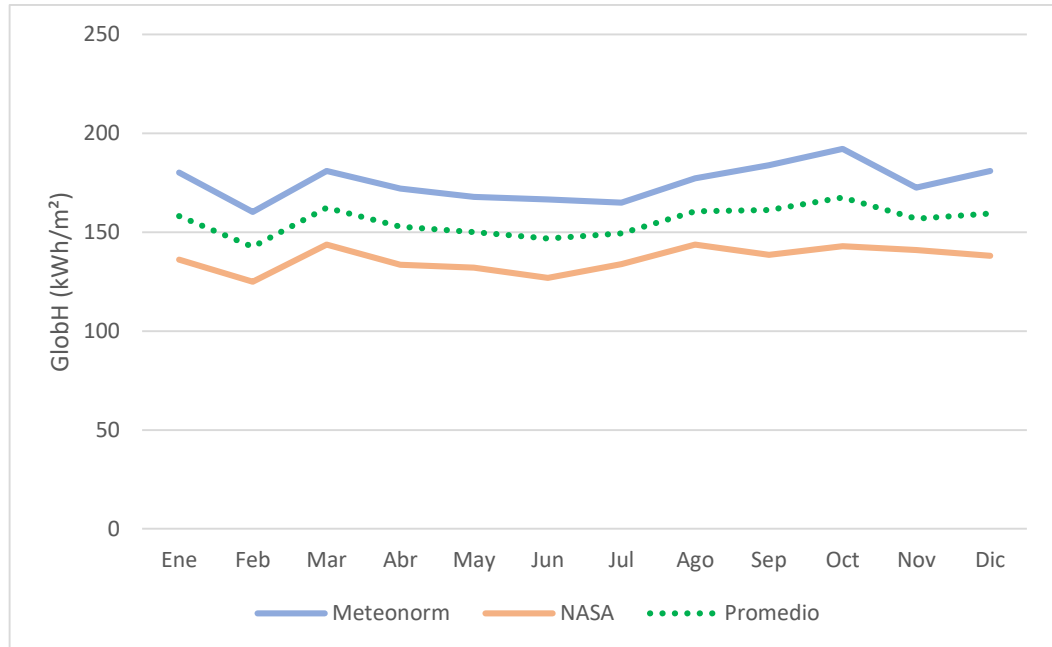


Figura 17 Comparación de los datos obtenidos de las diferentes bases de datos.

2.5.6. Dimensionamiento fotovoltaico.

El dimensionamiento se realiza mediante cálculos para alcanzar una eficiencia óptima y una revisión detallada de las especificaciones técnicas y de los diferentes aspectos que influyen en el dimensionamiento de los equipos y componentes que forman el sistema fotovoltaico.

En primera instancia, se dispone de los datos correspondientes a la demanda y además de los datos actualizados de la radiación incidentes de la zona de estudio.

2.5.7. Estimación del recurso solar disponible

Ecuador debido a su ubicación geográfica posee un alto potencial de recurso solar y con respecto a la ubicación geográfica del lugar de la instalación fotovoltaica se utiliza la información dotada por National Aeronautics and Space Administration (NASA), la misma que en la Figura 18, se especifica los datos sobre las Horas Solares Pico.

```

-BEGIN HEADER-
NASA/POWER CERES/MERRA2 Native Resolution Monthly and Annual
Dates (month/day/year): 01/01/2022 through 12/31/2022
Location: Latitude -1.37 Longitude -78.52
Elevation from MERRA-2: Average for 0.5 x 0.625 degree lat/lon region = 3003.46 meters
The value for missing source data that cannot be computed or is outside of the sources availability range: -999
Parameter(s):
ALLSKY_SFC_SW_DWN CERES SYN1deg All Sky Surface Shortwave Downward Irradiance (kw-hr/m^2/day)
-END HEADER-
PARAMETER YEAR JAN FEB MAR APR MAY JUN JUL AUG SEP OCT NOV DEC ANN
ALLSKY_SFC_SW_DWN 2022 4.21 3.65 3.58 3.70 3.63 3.67 3.54 3.85 4.76 4.36 4.42 4.52 3.99

```

Figura 18 Horas pico solares del lugar según la NASA

Fuente: NASA

Según la información obtenida por parte de la NASA se determina HSP de 3.99 horas pico solares

2.5.8. Potencia instalada en la Granja avícola

En la Tabla 8 se procede a enlistar todos los equipos eléctricos instalados en la avícola y su potencia nominal.

Tabla 8 Potencia instalada en la avícola

| Equipos | Cantidad | Tensión [v] | Potencia Uni. [W] | Potencia [kW] |
|---|----------|-------------|-------------------|---------------|
| Sistema de iluminación | 18 | 110 | 15 | 0,27 |
| Sistema de vigilancia | 1 | 110 | 165 | 0,165 |
| Sistema de alarma. | 1 | 110 | 132 | 0,132 |
| Sistema de calefacción industrial | 1 | 110 | 330 | 0,33 |
| Motor para suministrar de comida de aves a las tolvas de los galpones | 1 | 110 | 1140 | 1,14 |
| TOTAL | | | | 2,037 |

En la Figura 19 se observa el sistema de iluminación que cuenta la granja avícola.



Figura 19 Sistema de iluminación de la granja avícola.

2.5.9. Curva de demanda de la Granja avícola.

La curva de demanda representa el comportamiento del sistema eléctrico de la granja avícola, por tal razón se realizó la medición, obteniendo una curva promedio durante 7 días que la granja trabaja a su plena capacidad, por lo que se registran valores desde el día lunes 15/04/2024 hasta 21/04/2024 obteniendo los siguientes valores en la Tabla 9.

Tabla 9 Demanda de la granja avícola

| | |
|-----------------|-------|
| MAX | 12,25 |
| MIN | 0,89 |
| PROMEDIO | 4,87 |

La demanda máxima sucede en la hora en la 13h00 am con 12,25 kW esto debido al arranque de los motores mezcladores de los silos y para suministrar de balanceado a las tolvas de los gallineros, pero de igual manera se puede observar en la Figura 20 que a partir de las 23h00 se tiene la demanda mínima debido a que el sistema de iluminación de los gallineros se apaga a partir de esta hora.

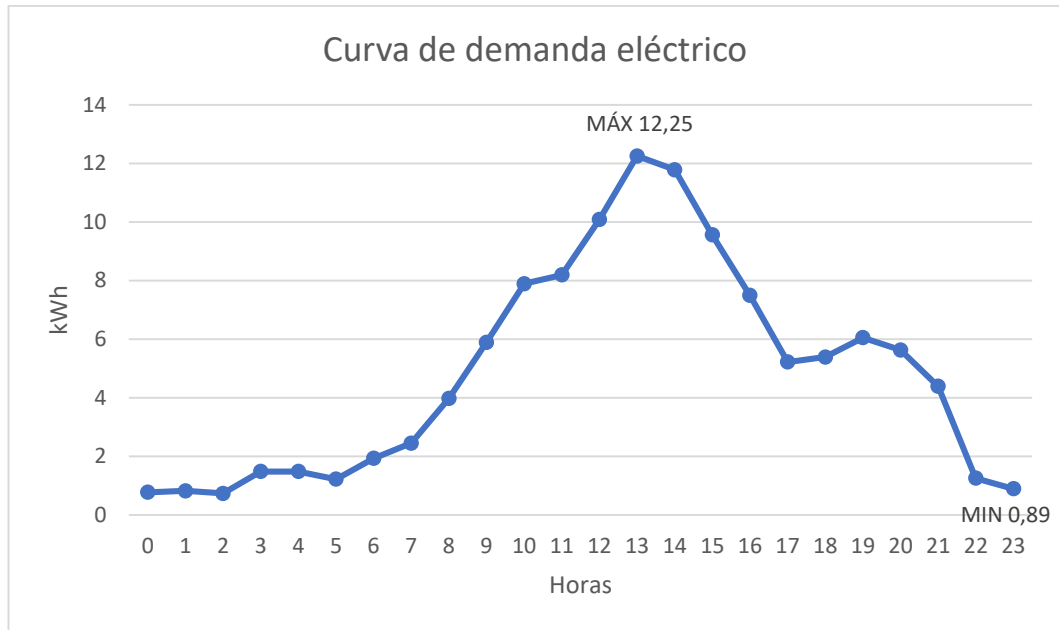


Figura 20 Curva de demanda eléctrico de la granja avícola

2.5.10. Selección del sistema fotovoltaico

2.5.10.1. Ángulos de inclinación y acimut.

Para la configuración de la orientación se debe definir el ángulo óptimo de inclinación solar.

Existen distintas formas de calcular la inclinación óptima de las placas solares fotovoltaicas. A continuación, se determina los métodos más utilizados para calcularlo, debido principalmente a su sencillez y fiabilidad.

2.5.10.2. Método de la inclinación óptima anual

En la siguiente Ecuación 3 se expresa la inclinación óptima anual para conseguir la mayor radiación solar anual posible sobre un captador solar estático. Está basada en el análisis estadístico de la radiación solar anual sobre superficies con diferentes inclinaciones situadas en lugares de diferentes latitudes, por lo que proporciona la inclinación óptima en función de la latitud del lugar:

$$\beta_{\text{opt}} = 3,7 + 0,69 \cdot \phi \quad (3)$$

Siendo:

β : ángulo de inclinación óptima (grados)

ϕ : latitud del lugar, sin signo (grados)

2.5.10.3. Método en función del periodo de tiempo y el uso

Existen expresiones que permiten calcular la inclinación óptima dependiendo del uso, utilizando distintos criterios, como se muestra en la siguiente Tabla 10:

Tabla 10 Distintos criterios para el cálculo de la inclinación óptima.

| Tipo de instalación | Uso | Máxima captación | Inclinación óptima |
|--------------------------------------|-------|--|---------------------------|
| Conectadas a la red | Anual | Anual | $\beta_{opt} = \Phi - 10$ |
| Bombeo de agua | Anual | Verano | $\beta_{opt} = \Phi - 20$ |
| Autónomas de consumo anual constante | Anual | Período de menor radiación (por ejemplo, invierno) | $\beta_{opt} = \Phi + 10$ |

Fuente: [26]

En la Tabla 10, se puede ver, que para el tipo de instalación conectadas a la red de interés tener la máxima captación posible anual, por lo tanto, se necesitará la inclinación óptima anual.

2.5.10.4. Criterios Técnicos

Dependiendo de la zona y la climatología, a veces no se puede aplicar criterios de máxima captación posible para determinar la inclinación. En lugares con nevadas frecuentes se requiere inclinaciones cercanas a los 90° para evitar acumulaciones sobre la superficie del generador. En zonas desérticas, para evitar la acumulación de arena sobre la superficie la inclinación mínima debe ser de 45° y en regiones lluviosas tropicales hace falta una inclinación mínima de 30°. [27]

Para realizar un análisis técnico sobre el grado de inclinación óptimo de los paneles solares en la zona de Ecuador, es necesario considerar varios factores, incluyendo la latitud, la inclinación del sol a lo largo del año, y las condiciones meteorológicas locales.

Ecuador se encuentra en la línea ecuatorial, aproximadamente a 0° de latitud. Esta ubicación especial implica ciertas consideraciones particulares para la inclinación de los paneles solares.

- Aproximadamente 10° - 15° hacia el norte o sur, dependiendo de la orientación de la instalación
- Si es posible, ajustar la inclinación dos veces al año para optimizar la captación de energía solar.

2.5.10.5. Pérdidas por inclinación y orientación

Las pérdidas por inclinación y orientación en un panel fotovoltaico se calcularán en función de:

- Ángulo de inclinación β , definido como el ángulo que forma la superficie de los paneles con el plano horizontal. Su valor oscila entre 0° para paneles en posición horizontal y 90° en posición vertical.
- Ángulo de azimut γ , definido como el ángulo entre la proyección sobre el plano horizontal de la normal a la superficie del panel y el meridiano del lugar. Su valor es 0° para paneles orientados al Sur, -90° para paneles orientados al Este y $+90^\circ$ para paneles orientados al Oeste.[27]

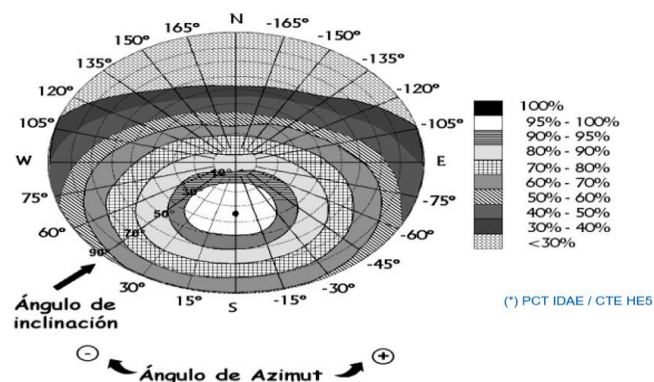


Figura 21 Pérdidas de energía solar por inclinación y orientación de un panel fotovoltaico.

Fuente: [27]

De los conceptos antes definidos se puede configurar la orientación de panel. Los paneles solares en el ejemplo se instalarán en un plano inclinado fijo. Con los

ángulos de inclinación del plano y acimut (10° y 0° este respectivamente) como se muestra en la Figura 22.

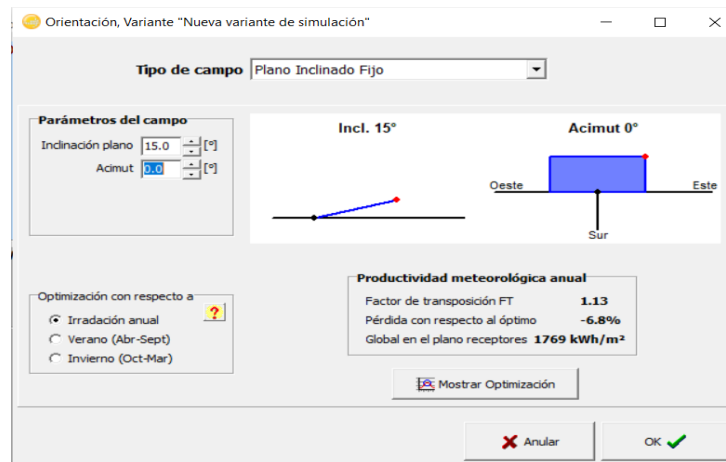


Figura 22 Configuración de orientación de los paneles.

2.5.11. Especificaciones técnicas del sistema FV.

2.5.11.1. Determinación de área efectiva

Un punto importante que hay que considerar en la instalación del sistema fotovoltaico es el área total disponible para la instalación, y dependiendo de ésta se toma en cuenta la cantidad de paneles que se puede instalar.

Por lo tanto, se dispone de un terreno aledaño a los galpones de la avícola cuyas dimensiones se observa en la Figura 23.



Figura 23 Dimensión del área disponible para la instalación del sistema fotovoltaico.

Fuente: Google Maps

Como se observa en la Figura 23, el terreno aledaño a los galpones de la avícola cuenta con un área de 2120.02 m².

2.5.12. Factor de rendimiento energético, fr

El factor de rendimiento energético en un sistema fotovoltaico se refiere a la eficiencia con la que el sistema opera en condiciones reales; este factor se calcula mediante la Ecuación 4.

$$fr = (1 - kv - kb) * \left(1 - \frac{n*ka}{pd}\right) \quad (4)$$

Donde:

kv: Se refiere a las pérdidas por temperatura, efecto Joule, cableado y transmisión, donde este coeficiente debe ser menor a 0,05

kb: Representa la eficiencia energética del acumulador, y será menor a 0,05

ka: Representa la eficiencia energética de las baterías y se establece este coeficiente de auto descarga de las baterías que debe ser menor al 0,005.

pd: Representa la profundidad de descarga diaria de las baterías, y éste no debe ser más del 80%

n: Representa los días de autonomía del sistema [14]

$$fr = (1 - 0,05 - 0,05) * \left(1 - \frac{1 * 0,005}{0,5}\right)$$

$$fr = 0,891$$

2.5.13. Consumo energético diario

El consumo energético diario en generación fotovoltaica depende de la potencia instalada y de la eficiencia del sistema fotovoltaico y se utiliza la Ecuación 5.

$$Ed = E * fc \quad (5)$$

Donde:

Ed= Consumo energético diario

E= Energía total del sistema

fc= factor de crecimiento y se considera un 20%, teniendo un fc de 1.20 [14]

$$Ed = 12258 * 1.20$$

$$Ed = 14709,6 Wh/día$$

El consumo energético diario E_d es un coeficiente teórico, que debe relacionarse con el factor de rendimiento f_r para obtener el consumo real. Se propone la Ecuación 6 para el cálculo del consumo real diario.

$$Er = \frac{Ed}{f_r}$$

(6)

$$Er = \frac{14709,6 Wh/día}{0,891}$$

$$Er = 16509,09 Wh/día$$

El voltaje del sistema se elige a partir del consumo diario real, donde se basa bajo los siguientes criterios.

- De 1 a 2000Wh de consumo diario se establece un sistema de 12 V.
- De 2001 a 4000 Wh de consumo diario, se utiliza un sistema de 24V.
- De 4001 Wh en adelante se utiliza un sistema de 48 V.

Por lo cual, se utiliza el sistema de 48 V.

2.5.14. Amperios hora requeridos para el sistema

El banco de batería suministra de energía a la carga cuando ya no haya radiación solar, por lo tanto, se realiza el cálculo de un banco de baterías y se determina una autonomía completa del sistema para abastecer la demanda de la avícola.

$$Ib = \frac{Er * n}{V_{sistema} * E_{inv}} \quad (7)$$

Donde:

Ib: Representa los amperios hora requeridos en el banco de baterías.

Er: Representa el consumo diario real

V_{sistema} : Representa el voltaje de funcionamiento del sistema

n : Representa los días de autonomía del sistema

E_{finv} : Representa la eficiencia máxima del inversor

$$Ib = \frac{16509,09 * 1(\text{día})}{48V * 93\%}$$

$$Ib = 369,82 \text{ Ah}$$

2.5.15. Corriente pico del sistema

La corriente pico del sistema se refiere a la cantidad máxima de corriente eléctrica que puede generar un sistema fotovoltaico en condiciones óptimas, es la relación entre los amperios hora de la batería y las horas pico en el peor mes del año, y todo este cálculo se realiza con la Ecuación 8.

$$Ips = \frac{Ib}{HSP \text{ mínimas}} \quad (8)$$

Donde:

Ips : Representa la corriente máxima del sistema

$HSP \text{ mínimas}$: Representa las horas solares pico del peor año del año

$$Ips = \frac{369,82 \text{ Ah}}{3,54 \text{ h}}$$

$$Ips = 104,46 \text{ A}$$

2.5.16. Selección del panel solar

Para el correcto dimensionado del generador solar fotovoltaico es necesario calcular el número de paneles en serie por fila, también conocidos como strings y del inversor. Para calcular el número de strings paralelos, así como del número de paneles por string se utilizarán los siguientes datos de características técnicas del panel fotovoltaico policristalino de 72 celdas con 340Wp, para el caso de ejemplo se utilizará un panel ERA SOLAR POLYCRISTALLINE 72 CELL SERIES, cuyos datos se detalla en la Tabla 11 y en el Anexo B.

Tabla 11 Características técnicas del panel fotovoltaico ERA 72 CELL 340Wp

| PANEL FOTOVOLTAICO | |
|---|--|
| Panel Tipo | ERA SOLAR POLYCRISTALLINE 72 CELL SERIES |
| Potencia Máxima, P_{max} , W_p | 340 |
| Tensión a Potencia Máxima, V_{MPP} , V | 38,5 |
| Tensión de Circuito Abierto, V_{oc} , V | 46,4 |
| Intensidad a Potencia Máxima, I_{MPP} , A | 8,84 |
| Intensidad de Cortocircuito, I_{sc} , A | 9,45 |
| Coefficiente de Temperatura de V_{oc} , β | -0,29%/°C |
| Coefficiente de Temperatura de I_{sc} , γ | 0,08%/°C |
| Coefficiente de Temperatura de P_{max} , δ | -0,38%/°C |
| Temperatura Nominal de Operación, °C | 42±3°C |

Fuente: Anexo B

2.5.17. Criterios de acoplamiento generador pv-inversor

Para garantizar la óptima operación del inversor es necesario evaluar el comportamiento del generador fotovoltaico en diferentes condiciones extremas de funcionamiento. La tensión de operación de los paneles fotovoltaicos es afectada por las variaciones de temperatura ambiente, por tanto, depende estrechamente de la variación climatológica del lugar seleccionado, valores máximos y mínimos históricos de la temperatura e irradiancia. Huambalito presenta una temperatura máxima histórica es de 18°C y la mínima es de 4°C, como se observa en la Figura 24.

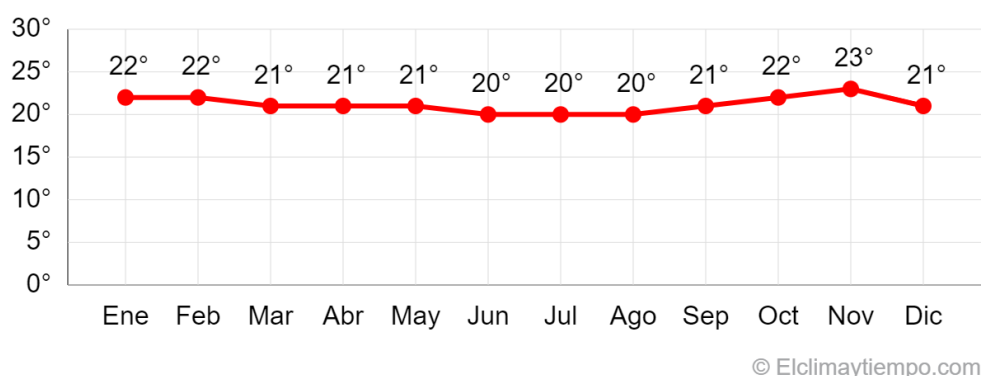


Figura 24 Datos históricos de temperatura de Huambalito.

Fuente: [28]

Es importante indicar que la tensión de los paneles es más sensible a los cambios de temperaturas mientras que la intensidad es más sensible a los cambios a las variaciones de la irradiación. Así, teóricamente, la tensión máxima de un string dependerá de las condiciones irradiación y temperatura mínima históricas, mientras que la tensión mínima de un string ocurrirá para las condiciones de irradiación y temperatura máxima históricas. [14]

2.5.18. Cálculo de número de paneles.

Para el cálculo del número de paneles solares en un sistema fotovoltaico se requiere considerar diversos factores y realizar estimaciones cuidadosas, es decir, se debe tener en cuenta el número de cargas conectadas al sistema, y por lo tanto la potencia y las horas de uso. Se realiza el cálculo del número de paneles solares, tomando los datos obtenidos de las horas pico solares y se utiliza la siguiente Ecuación 9.

$$\text{Número Paneles} = \frac{\text{Energía}}{\text{HSP} * \text{Wp}} \quad (9)$$

$$\text{Número Paneles} = \frac{14709,6}{3,99 * 340}$$

$$\text{Número Paneles} = 10,08 \approx 10 \text{ paneles}$$

Donde:

Energía= Wh de la avícola.

HSP= Horas pico solares.

Wp= Potencia del panel en W.

2.5.19. Cálculo de la potencia máxima de generación

El cálculo de la potencia máxima de generación de cada panel fotovoltaico es muy importante conocer y de igual manera la cantidad de los mismos. La Ecuación 10 ayuda a calcular dicha potencia.

$$P_{Gmax} = N_{pan} * P_{max} \quad (10)$$

$$P_{Gmax} = 10 * 340$$

$$P_{Gmax} = 3400 \text{ W}$$

$$P_{Gmax} = 3,4kW$$

Donde:

P_{Gmax} = Es la potencia de generación en Wp.

N_{pan} = Número de paneles solares

P_{max} = Potencia máxima nominal del panel fotovoltaica en kW.

2.5.20. Distribución de los paneles solares

La distribución de los paneles solares es un factor de gran importancia ya que se determina si serán conectados en serie o en paralelo, y por lo tanto se debe tomar en cuenta los valores nominales de los paneles seleccionados. [14]

2.5.20.1. Conexión de paneles solares en serie

Mediante la Ecuación 11, se determina la cantidad de paneles solares que serán conectados en serie.

$$P_{serie} = \frac{V_{sistema}}{V_{panel}} \quad (11)$$

Donde:

P_{serie} = Número de módulos solares que serán conectados en serie.

V_{panel} = Tensión nominal del módulo solar seleccionado.

$$P_{serie} = \frac{48 V}{24 V}$$

$$P_{serie} = 2 \text{ paneles}$$

2.5.20.2. Conexión de paneles solares en paralelo

Se determina también la cantidad de paneles solares que serán conectados en paralelo, donde se utiliza la Ecuación 12.

$$P_{paralelo} = \frac{T_{paneles}}{P_{serie}} \quad (12)$$

$$P_{paralelo} = \frac{10}{2}$$

$$P_{paralelo} = 5 \text{ grupos}$$

Donde se establece el $P_{paralelo}$ que es el número de módulos conectados en paralelo.

2.5.20.3. Dimensionamiento del espacio físico para los paneles

Una vez determinado el número de paneles solares que requiere la avícola, se establece tener un aproximado de las dimensiones que ocupa el sistema, para lo cual se toma en cuenta las dimensiones que tiene cada panel: 1956 x 992 x 40 mm, y cada panel tiene 72 celdas.

$$Ancho \text{ total} = Ancho_{panel} * P_{serie}$$

$$Ancho \text{ total} = 1956 \text{ mm} * 2 = 3912 \text{ mm}$$

$$Ancho \text{ total} = 3,912 \text{ m}$$

$$Largo \text{ total} = Largo_{panel} * P_{paralelo}$$

$$Largo \text{ total} = 992 \text{ mm} * 5 = 4960 \text{ mm}$$

$$Largo \text{ total} = 4,960 \text{ m}$$

En la Figura 25 se determina la distribución de los paneles solares, tomando en cuenta el espacio para realizar la instalación que es de 2120 m².

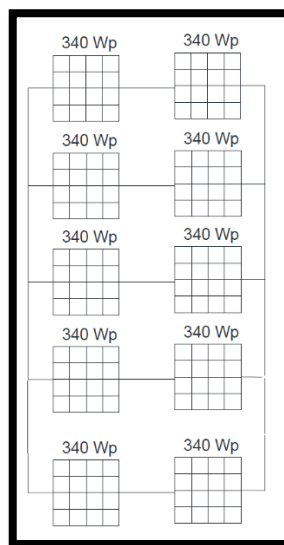


Figura 25 Distribución de los paneles solares

2.5.21. Banco de baterías

2.5.21.1. Determinación de la capacidad del banco de baterías

Para determinar la capacidad adecuada del banco de baterías se debe considerar factores claves, como es determinar la demanda de energía, la autonomía deseada, la eficiencia de descarga de las baterías y las condiciones ambientales.[14]

Para el presente estudio se establece un banco de baterías cuya autonomía sea de 24 horas, y para lo cual se plantea la siguiente Ecuación 13, la misma que halla el valor de la capacidad nominal del banco de baterías.

$$I_{bn} = I_b * n \quad (13)$$

Donde:

I_{bn} : Representa la capacidad nominal del banco de baterías

$$I_{bn} = 369,82 \text{ Ah} * 1 \text{ día}$$

$$I_{bn} = 369,82 \text{ Ah}$$

Las baterías que se propone son de Plomo Ácido que cumplen con las Normas DIN 40736-1. Las baterías no presentan un tiempo extenso de duración por lo tanto son económicas.

A continuación, se detalla en la Tabla 12 las características principales de la batería y en el Anexo C se presenta la ficha técnica completa del equipo.

Tabla 12 Características principales de la Batería

| Batería 12V Monoblock-Solar Plomo Ácido Abierto (VLA) | |
|--|--|
| Mantenimiento | Mantenimiento mínimo gracias al bajo contenido en antimonio y una mayor reserva de electrolito |
| Clasificación Eurobat: | Long Life (diseño de vida 12 años a 25°C) |
| Ciclos de vida | 2400 |
| Profundidad de descarga a 20°C | 60% |
| Modelo | FS 260 SOLAR |

| Descripción | FÓRMULA STAR SOLAR |
|---------------------|--------------------|
| Capacidad (Ah) C100 | 260 |
| Largo (mm) | 518 |
| Ancho (mm) | 276 |
| Alto (mm) | 242 |
| Peso (Kg) | 55 |

Fuente: Anexo C

2.5.21.2. Distribución del banco de baterías en serie

Mediante la Ecuación 14 se obtiene la repartición de las baterías en serie.

$$B_{serie} = \frac{V_{sistema}}{V_n} \quad (14)$$

Donde:

Bserie: Representa el número de baterías a conectarse en serie

Vn: Representa el voltaje nominal de la batería dada por el fabricante

$$B_{serie} = \frac{48 V}{12V}$$

$$B_{serie} = 4 \text{ baterías}$$

2.5.21.3. Distribución del banco de baterías en paralelo

Mediante la Ecuación 15 se determina la cantidad de grupos de baterías que están conectadas en paralelo.

$$B_{paralelo} = \frac{\left(\frac{I_{bn}}{Prof.desc}\right)}{I_n} \quad (15)$$

Donde:

Prof. Desc= Representa la profundidad de descarga de la batería

In= Representa la capacidad nominal de la batería, este dato es dada por el fabricante

$$B_{paralelo} = \frac{\left(\frac{369,82 \text{ Ah}}{0,60}\right)}{260 \text{ Ah}} = \frac{616,36 \text{ Ah}}{260 \text{ Ah}}$$

$$B_{paralelo} = 2,37 = 2 \text{ grupos}$$

Una vez conocido el número de baterías conectadas en serie y también forman el grupo en paralelo, se halla el número total de baterías mediante el siguiente cálculo correspondiente.

$$T_{baterías} = B_{serie} * B_{paralelo}$$

$$T_{baterías} = 4 * 2$$

$$T_{baterías} = 8 \text{ baterías}$$

2.5.22. Dimensionamiento y selección del inversor

El dimensionamiento y selección del inversor adecuado para el sistema es un aspecto crucial que garantiza el correcto funcionamiento y la total eficiencia, ya que debe convertir la corriente continua (CC) generada por los paneles solares en corriente alterna (CA) que pueda ser utilizada por la carga de la avícola. [14]

Se define la Ecuación 16 para dimensionar el inversor, donde se toma en cuenta las potencias nominales de la carga, y se divide para el coeficiente de uso que normalmente esta entre 0,5 y 0,7.

$$P_{inversor} = \frac{P_{nominal}}{0,7} \quad (16)$$

$$P_{inversor} = \frac{2037}{0,7} = 2910 \text{ W}$$

Para este proyecto se tiene en cuenta los siguientes aspectos:

- Se utiliza un único inversor, por lo que el sistema de energía solar se construye de forma centralizada.
- El factor de potencia debe ser 1 si es posible.
- Para garantizar el funcionamiento normal del inversor se establece que la capacidad total del inversor debe ser mayor que la carga máxima de todo el sistema. Por lo tanto, se tiene en cuenta un factor de utilización de 0,7 y la

potencia del inversor es de 2510 W, por lo tanto, el inversor que se utiliza es de Marca Growatt de 3000 W.

Tabla 13 Características técnicas del Inversor Growatt SPT 3000TL LVM-48P

| INVERSOR GROWATT SPT 3000TL LVM-48P | |
|---|---|
| Voltaje de batería | 48 VDC |
| Tipo de Batería | Litio/ Plomo-ácido |
| Lado de salida | |
| Potencia nominal de CA | 3000 VA/3000W |
| Conexión en Paralelo | Si, 6 unidades máx. |
| Voltaje de CA | 120 VAC \pm 5% @ 50/60Hz |
| Sobretensión | 6000 VA |
| Eficiencia máx. | 93% |
| Tipo de onda | Onda senoidal pura |
| Tiempo de transferencia | 10 ms (Para computadora); 20ms (Para electrodomésticos) |
| Lado de entrada | |
| Máxima potencia FV | 4500 W |
| Rango de voltaje de circuito abierto FV | 60VDC-115VDC |
| Máx. Voltaje de circuito abierto FV | 145 VDC |
| Corriente máxima de carga | 80 ^a |
| Máxima eficiencia | 97% |
| Consumo de energía en espera | 2 W |
| Datos generales | |
| Protección ambiental | IP20 |
| Direccionamiento (ancho, alto, profundidad) | 130/350/455 mm |
| Peso | 11 Kg |

| Entorno Operativo | |
|-------------------------------|----------------|
| Humedad | 5% a 95% |
| Temperatura de operación | 0° - 55° C |
| Temperatura de almacenamiento | (-15°C – 60°C) |

Fuente: Anexo D

El inversor Growatt SPT 3000 TL es un equipo moderno, robusto, confiable y de alta calidad. El equipo combina un inversor, controlador de carga solar MPPT y cargador de baterías. Puede mezclar la recarga de las baterías usando la fuente solar y/o desde la red. Los inversores híbridos son aquellos que permiten el uso de la red eléctrica convencional y el uso de baterías.

2.5.23. Distancia entre elementos para el cálculo de conductores.

Una vez conocidos todos los elementos del sistema fotovoltaico se establece la distancia entre todos los elementos, es decir, la distancia entre los paneles, la distancia entre los paneles y el regulador, la distancia entre el regulador y las baterías, la distancia entre el regulador y el inversor, y entre el inversor con el tablero principal. [14]

2.5.23.1. Distancia entre paneles solares fotovoltaicos

Se realiza el cálculo de la distancia entre los paneles que serán conectados en paralelo.

$$\textit{Distancia entre paneles} = \textit{Ancho del panel} * \textit{Pparalelo}$$

$$\textit{Distancia entre paneles} = 992 \textit{ mm} * 2$$

$$\textit{Distancia entre paneles} = 1984 \textit{ mm} = 1,984 \textit{ m}$$

2.5.23.2. Distancia entre paneles e inversor de corriente

De igual manera se realiza el cálculo de la distancia entre los paneles y el inversor de corriente a donde hay que tomar en cuenta que los paneles estarán a 4 metros del inversor, por lo tanto:

$$\textit{Distancia entre paneles e inversor} = \textit{Dhorizontal} + \textit{Dvertical}$$

$$\textit{Distancia entre paneles e inversor} = (4\textit{ m} + 1\textit{ m}) + 1\textit{ m}$$

$$\textit{Distancia entre paneles e inversor} = 6 \text{ m}$$

2.5.23.3. Distancia entre inversor de corriente y banco de baterías

Se toma en cuenta que el banco de baterías estará en el mismo sitio donde se ubicará el inversor a una distancia de 1 metro, por lo que la distancia será:

$$\textit{Distancia entre inversor y baterías} = D_{\text{horizontal}} + D_{\text{vertical}}$$

$$\textit{Distancia entre inversor y baterías} = (1 \text{ m} + 1,5 \text{ m}) + 1 \text{ m}$$

$$\textit{Distancia entre inversor y baterías} = 3,5 \text{ m}$$

2.5.24. Cálculo de corriente de consumo

Se procede al cálculo de las corrientes de carga del inversor y del sistema fotovoltaico.

2.5.24.1. Corriente de carga del sistema

Para encontrar la corriente de carga del sistema se relaciona la potencia total del sistema y el voltaje alterna AC por medio de la Ecuación 17.

$$I_{\text{sistema}} = \frac{P_{\text{sistema}}}{V_{\text{avícola}}} \quad (17)$$

Donde:

I_{sistema} = Representa la corriente máxima de consumo

$V_{\text{avícola}}$ = Representa al voltaje AC de la avícola

$$I_{\text{sistema}} = \frac{2037 \text{ W}}{120 \text{ V}}$$

$$I_{\text{sistema}} = 16,975 \text{ A}$$

2.5.24.2. Corriente de carga del inversor

Según los cálculos antes establecidos, el sistema tendrá un solo inversor que tolera la carga de 3000W. La corriente de carga del inversor se detalla mediante la Ecuación 18.

$$I_{\text{inversor}} = \frac{P_{\text{inversor}}}{V_{\text{avícola}}} \quad (18)$$

Donde:

I_{inversor} = Representa la corriente de carga del inversor

$P_{inversor}$ = Representa la potencia del inversor

$V_{avícola}$ = Representa la tensión VAC de la avícola

$$I_{inversor} = \frac{3000 W}{120 V}$$

$$I_{inversor} = 25 A$$

A continuación, se aprecia que la corriente máxima del sistema es menor que la corriente del inversor.

2.5.25. Dimensionamiento de los conductores y protecciones

El dimensionamiento de los conductores y dispositivos de protección en un sistema fotovoltaico es un aspecto importante para garantizar su óptimo y correcto funcionamiento y se brinda la seguridad necesaria de los equipos.

El dimensionamiento de conductores en el sistema fotovoltaico se refiere a determinar las secciones apropiadas de cable para conectar los distintos componentes del sistema.

Por otra parte, los dispositivos de protección del sistema fotovoltaico son equipos que funcionan para garantizar la seguridad del sistema y evitar daños en caso de avería o sobrecarga.[16]

2.5.25.1. Selección de protecciones

La selección de dispositivos de protección en un sistema fotovoltaico es un elemento importante para garantizar la seguridad y el correcto funcionamiento del sistema.

Las protecciones eléctricas son dispositivos eléctricos diseñados para proteger el sistema y el personal de posibles riesgos como cortocircuitos, sobrecargas, sobre tensiones y fugas de energía.[14]

Fusible

Los fusibles en sistemas fotovoltaicos son dispositivos de protección que protegen los sistemas y dispositivos en caso de fallo y evitan posibles daños.

Un fusible se utiliza para romper y abrir un circuito si se excede la corriente nominal o se produce un cortocircuito.

Los puntos importantes a tener en cuenta sobre los fusibles en los sistemas fotovoltaicos son:

Rápido: Para proteger el sistema fotovoltaico de sobrecargas y cortocircuitos inmediatos, se recomienda seleccionar un fusible rápido.

Temperatura de funcionamiento: Los fusibles deben tener un rango de temperatura de funcionamiento apropiado para el entorno en el que se utilizan.[14]

Fusible Tipo NH

Un fusible NH, también conocido como fusible de cuchilla, es un tipo de fusible que protege los equipos eléctricos de cortocircuito y sobrecargas.

Este tipo de fusible se caracteriza por una alta capacidad para interrumpir corrientes de cortocircuito. [16]

Interruptor termomagnético o Breaker

En los sistemas fotovoltaicos, los interruptores termomagnéticos son dispositivos de protección del sistema y de los equipos conectados.

Posee la combinación de las características de los interruptores térmicos y magnéticos que garantizan la seguridad y el correcto funcionamiento.

Los dispositivos térmicos monitorean la temperatura del circuito y, cuando se excede un umbral preestablecido, activan un interruptor para cortar la corriente y evitar daños al sistema.

Los dispositivos magnéticos, por otro lado, funcionan cuando se produce un cortocircuito en el sistema.

Los interruptores NXB 6KA son un tipo de disyuntor magnético térmico diseñado para proteger los sistemas eléctricos y sus receptores de sobrecargas eléctricas y cortocircuito. Este interruptor corta la alimentación durante un tiempo suficientemente breve para evitar daños a la instalación y a los dispositivos conectados a ella.

La capacidad de corte del interruptor NXB 6KA es de 6KA.[14]

2.5.26. Diagrama del sistema solar fotovoltaico

Un diagrama unifilar de un sistema fotovoltaico es una representación gráfica de la configuración eléctrica del sistema, ya que muestra cómo se conectan los paneles solares, baterías, inversor, regulador, protecciones y otros componentes del sistema.

Este diagrama es una herramienta esencial ya que permite visualizar y comprender fácilmente la estructura y las conexiones de los componentes individuales del sistema.

En la Figura 26 se especifica el diagrama unifilar de las conexiones y la distribución de los elementos del sistema fotovoltaico.

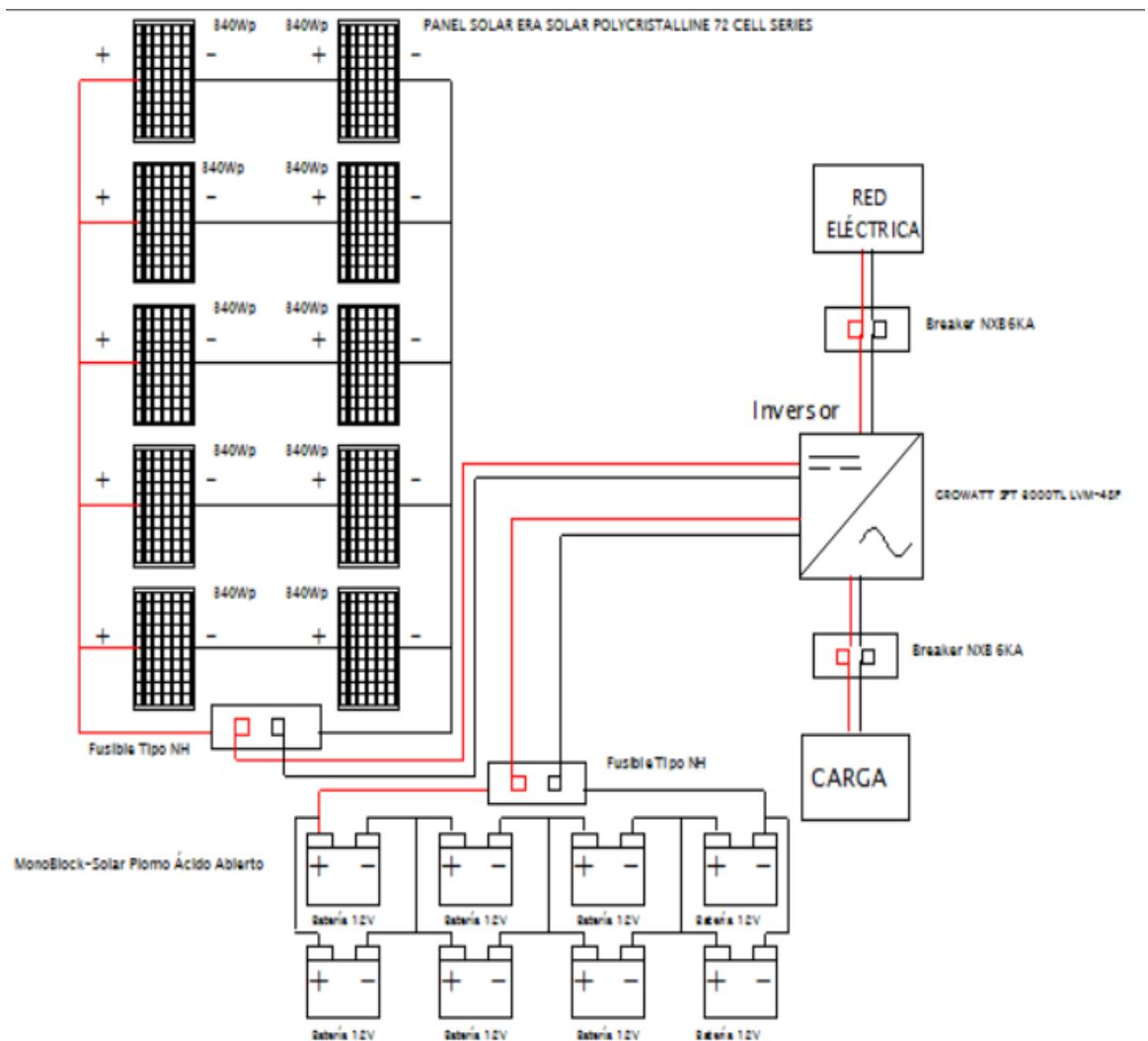


Figura 26 Diagrama unifilar sistema fotovoltaico

2.5.27. Presupuesto y Resultados técnicos

2.5.27.1. Resultados técnicos

Los resultados técnicos de un sistema fotovoltaico se refieren a los datos y mediciones obtenidas al evaluar el rendimiento y eficiencia del sistema. Estos resultados proporcionan información importante sobre el comportamiento del sistema solar y la producción de energía. [29]

2.5.27.2. Presupuesto del proyecto.

Para estimar el presupuesto del proyecto se toma en cuenta la cantidad de materiales, equipos y la mano de obra que se utiliza, para lo cual se considera los precios actuales de diferentes empresas distribuidoras.

En la Tabla 14 se detalla el costo de cada uno de los equipos, los mismos que fueron calculados con respecto a cada requerimiento de diseño del sistema solar fotovoltaico, y de igual manera el valor de la mano de obra se representa de acuerdo al rubro de trabajo de los técnicos eléctricos.

Tabla 14 Presupuesto del proyecto

| Especificación | Unidad | Cantidad | Equipo | Costo total (USD) |
|--|---------------|-----------------|---------------|--------------------------|
| Módulo fotovoltaico ERA SOLAR POLYCRISTALLINE Pmax=340Wp | U | 10 | 219,99 | \$2199,99 |
| Batería de plomo ácido FS 260Ah. | U | 8 | 300,79 | \$2406,32 |
| Conductor CENTELSA H1Z2Z2-K 25m ² | m | 60 | 2,34 | \$140,41 |
| Cable #12 AWG, para puesta a tierra | m | 15 | 3,21 | \$48,15 |

| | | | | |
|---|---|----|-------|-----------|
| Inversor Growatt SPT 3000TL LVM-48P, Vout 120 VAC | U | 1 | 907,5 | \$907,50 |
| Fusible FNH00-50-A | U | 2 | 3,25 | \$6,50 |
| Interruptor termomagnético NXB-63 50-6KA | U | 1 | 6,00 | \$6,00 |
| Bases de hierro para paneles 3,91 x 2.5m | U | 2 | 50 | \$100,00 |
| Varilla puesta a tierra | U | 1 | 8 | \$8,00 |
| Conectores, terminales y otros | U | 1 | 60 | \$60,00 |
| Mano de obra | U | 90 | 5 | 450,00 |
| | | | | \$6333,07 |

2.5.28. Indicadores de rentabilidad

Los indicadores de rentabilidad son aquellos datos que se debe considerar para la medición de la efectividad del proyecto, donde se maneja los datos de costos y gastos que permiten determinar si el proyecto es rentable.

El cálculo del Valor Actual Neto (VAN) permite determinar la rentabilidad del proyecto donde se parte de una inversión inicial y a una tasa de descuento.

Se determina la Ecuación 19 para el cálculo del Indicador VAN donde se detalla la inversión inicial, los ingresos y egresos durante un período de tiempo que se va a analizar. [30]

$$VAN = \sum_{t=1}^n \frac{Ft}{(1+k)^t} - I \quad (19)$$

Donde:

Ft = Flujo de dinero para cada período

I = Inversión inicial del proyecto

n = Cantidad de período de tiempo (vida útil del proyecto)

k = Tasa de descuento eficaz, tasa de interés

El indicador de rentabilidad TIR Tasa de interés de retorno calcula la rentabilidad de un proyecto e indica si es conveniente o no realizar el proyecto.[31]

Por medio de la Ecuación 20 se realiza el cálculo del indicador TIR.[32]

$$TIR = \sum_{t=1}^n \frac{Ft}{(1+d)^t} = 0 \quad (20)$$

Donde:

Ft = Flujo de dinero para cada período

n = Cantidad de períodos de tiempo

d = Tasa de descuento que hace que el resultado sea cero

El indicador VAN establece dos condiciones; la primera es cuando se tiene un VAN positivo, indica que el proyecto es viable y es apto para ejecutarlo; y la segunda condición es cuando se tiene un VAN negativo indica que el proyecto no es viable y por lo tanto el proyecto es rechazado. [30]

2.5.29. Análisis y recuperación de la inversión

El tiempo de recuperación de la inversión se define de acuerdo al costo de la energía en kWh que establece la empresa eléctrica EEASA en su pliego tarifario, donde en la Tabla 15 se especifica la facturación de energía del año 2023.

Tabla 15 Facturación de energía del año 2023

| MESES (2023) | TOTAL [kWh] | TOTAL [\$] |
|--------------|-------------|------------|
| Enero | 620 | 60,56 |
| Febrero | 434 | 41,40 |
| Marzo | 411 | 39,03 |
| Abril | 458 | 43,87 |
| Mayo | 574 | 55,82 |
| Junio | 574 | 38,31 |
| Julio | 404 | 49,23 |

| | | |
|------------|-----|----------|
| Agosto | 510 | 21,16 |
| Septiembre | 230 | 31,72 |
| Octubre | 340 | 35,63 |
| Noviembre | 423 | 40,27 |
| Diciembre | 502 | 48,41 |
| | | \$505,41 |

Por lo tanto, se obtiene una cantidad de \$505,41 como ingreso anual.

En la Tabla 16 se detalla la vida útil de cada equipo del sistema, y se debe tomar en cuenta que deben estar correctamente instalados y realizar un mantenimiento preventivo.

Tabla 16 Detalle de la vida útil de los equipos del sistema

| EQUIPO | VIDA ÚTIL |
|------------------------------------|--|
| Paneles fotovoltaicos | Más de 30 años con un mantenimiento adecuado |
| Inversor | Más de 20 años |
| Batería de plomo ácido | Más de 10 años |
| Elementos de protección y cableado | Más de 20 años |

Fuente: [14]

Se contempla que el sistema fotovoltaico debe tener un adecuado mantenimiento para cada uno de sus equipos, y por ende este trabajo también representa gasto, es por eso que se considera el valor de \$10 para pagar a un trabajador que realice este trabajo una vez al año.

La Tabla 17 detalla los valores finales del cálculo del VAN donde se obtiene un valor positivo y la TIR cuyo valor es mayor a la Tasa de interés, lo que indica que el proyecto es rentable y se tiene un tiempo de recuperación de 8 años. Se considera el valor de la tasa de los bonos del Tesoro de Estados Unidos, conocida también

como tasa libre de riesgos, esto se da para inversiones muy seguras ya que es un punto de referencia para la fijación de precios de activos financieros. [33]

Tabla 17 Análisis de rentabilidad económica del proyecto

| | |
|-------------------------------|-------|
| Valor actual Neto (VAN) | \$154 |
| Tasa interna de retorno (TIR) | 9% |
| Tasa de interés | 4,2% |

2.5.30. Cálculo de costo nivelado de energía (LCOE)

El costo nivelado de energía LCOE es una medida del costo promedio de la electricidad generada por el sistema fotovoltaico a lo largo de su vida útil, y se necesita la siguiente información:

Costo inicial CAPEX: Costo total de instalación del sistema fotovoltaico.

Costos operativos y de mantenimiento OPEX: Costos anuales de operación y mantenimiento del sistema fotovoltaico.

Producción anual de energía: Cantidad de energía que el sistema fotovoltaico genera anualmente, medida en kWh.

Vida útil del sistema: Número de años que el sistema solar estará en operación

Tasa de descuento: Tasa de interés utilizada para descontar los flujos de caja futuros a su valor presente.

$$LCOE = \frac{\sum_{t=1}^T \frac{CAPEX + OPEX_t}{(1+r)^t}}{\sum_{t=1}^T \frac{E_t}{(1+r)^t}} \quad (21)$$

2.5.30.1. Cálculo de LCOE para los Paneles Solares.

Para el cálculo de LCOE para los paneles solares, se utiliza la Ecuación 2, donde se considera tanto el costo total de la instalación y operación como la cantidad total de energía generada durante la vida útil del sistema.

Datos para el cálculo de LCOE.

En la Tabla 18 se detalla los datos que servirán para el cálculo de la LCOE. El valor de la Irradiancia solar, es tomada de la base de Datos obtenido anteriormente por medio del software PVsyst como se observa en la Figura 15.

Tabla 18 Datos para cálculo de LCOE en los paneles solares

| | | |
|--------------------------|----------|--------------------------|
| Potencia | 3,4 | kW |
| Radiación | 174,96 | kWh /m ² ·año |
| Tasa de descuento | 4,20% | 0,042 |
| Eficiencia | 30,00% | 0,3 |
| Producción | 1784,592 | kWh/año |
| Vida útil | 20 | años |

Y finalmente en la Tabla 19 se visualiza el cálculo final de LCOE para los paneles solares que es de \$0,26 USD/kWh.

Tabla 19 Cálculo LCOE para paneles solares

| Año | CAPEX | OPEX | Cash Flow | Discounted Energy Production (kWh) | LCOE (USD/kWh) |
|------------|--------------|-------------|------------------|---|-----------------------|
| 1 | 6333,07 | 10 | 6087,399 | 1712,7 | 0,26 |
| 2 | 0 | 10 | 9,210105 | 1643,6 | |
| 3 | 0 | 10 | 8,838872 | 1577,4 | |
| 4 | 0 | 10 | 8,482603 | 1513,8 | |
| 5 | 0 | 10 | 8,140694 | 1452,8 | |
| 6 | 0 | 10 | 7,812566 | 1394,2 | |
| 7 | 0 | 10 | 7,497664 | 1338,0 | |
| 8 | 0 | 10 | 7,195455 | 1284,1 | |
| 9 | 0 | 10 | 6,905427 | 1232,3 | |
| 10 | 0 | 10 | 6,627089 | 1182,7 | |
| 11 | 0 | 10 | 6,35997 | 1135,0 | |
| 12 | 0 | 10 | 6,103618 | 1089,2 | |
| 13 | 0 | 10 | 5,857599 | 1045,3 | |
| 14 | 0 | 10 | 5,621496 | 1003,2 | |
| 15 | 0 | 10 | 5,39491 | 962,8 | |
| 16 | 0 | 10 | 5,177457 | 924,0 | |
| 17 | 0 | 10 | 4,968769 | 886,7 | |
| 18 | 0 | 10 | 4,768492 | 851,0 | |
| 19 | 0 | 10 | 4,576288 | 816,7 | |
| 20 | 0 | 10 | 4,391831 | 783,8 | |

2.5.30.2. Cálculo de LCOE para el Banco de Baterías

El LCOE de un Banco de Baterías representa el costo promedio de almacenar y entregar una unidad de energía a lo largo de la vida útil del sistema de almacenamiento, considerando todos los costos asociados, como la inversión inicial, operación y mantenimiento, profundidad de descarga y vida útil de las baterías.

En la Tabla 20 se detalla los datos y el cálculo final de LCOE del banco de baterías, donde se determina el valor de 0,27 \$USD/kWh.

Tabla 20 Cálculo LCOE del banco de baterías

| | | |
|------------------------------------|---------|-----------|
| Costo inicial | 2446,32 | \$USD |
| Costo mantenimiento | 5 | \$USD |
| Capacidad de almacenamiento | 520 | Ah |
| Voltaje del sistema | 12 | V |
| Número de ciclos | 2400 | |
| Profundidad de descarga | 60% | 0,6 |
| Vida útil | 12 | años |
| Capacidad de almacenamiento | 6,4 | kWh |
| Costo total | 2506,32 | \$ USD |
| Energía total suministrada | 9216 | kWh |
| LCOE | 0,27 | \$USD/kWh |

2.5.31. Modelo de optimización matemático

El siguiente modelo propuesto soluciona un problema de programación lineal, y lo que pretende es maximizar los beneficios económicos y por ende lograr el aprovechamiento eficiente de la generación fotovoltaica. [34]

A continuación, se presenta el diagrama de flujo del proceso de optimización donde se plantea la entrada y salida de datos, se formula el planteamiento de las ecuaciones, la validación del modelo y el procesamiento de datos y resultados. [23]

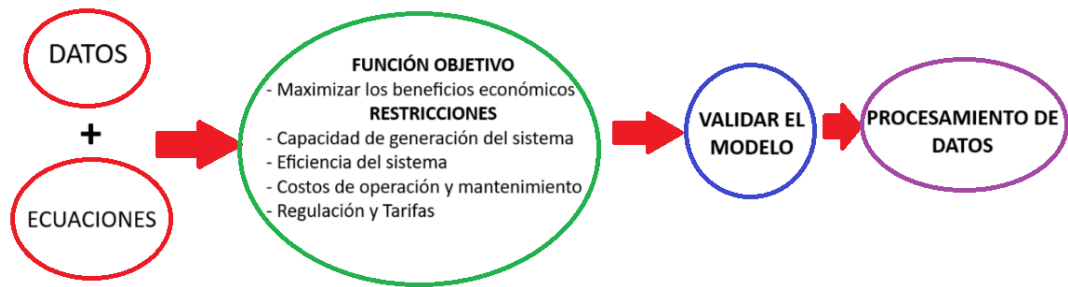


Figura 27 Metodología de trabajo

En la Figura 27 se muestra el diagrama de flujo del proceso de optimización donde se opera las entradas y las salidas de datos, de igual manera se realiza el planteamiento de ecuaciones y la presentación de resultados de la inversión del sistema fotovoltaico.

Se define el problema donde se establece que la granja avícola tiene como dato conocido el consumo mensual y desea instalar un sistema de micro generación fotovoltaica, el mismo que generará cada mes una cantidad de kWh en función de la potencia instalada.

2.5.31.1. Balance energético

El balance energético permite consumir la energía producida por la instalación y por tanto ahorrar de la factura eléctrica lo correspondiente a esa energía [2]. En este caso se presenta auto consumo diferido, es decir, que la energía producida es consumida en un momento distinto al que se generó la energía, ya que se cuenta con un banco de batería cuya autonomía es del 100%.

2.5.31.2. Datos conocidos.

Consumo mensual: Hace referencia a la energía en kWh que consumirá la avícola durante el período mensual, por lo que se considera el año 2023.

Tipo de cliente: Se trata de cliente comercial.

Precio de la electricidad: Se refiere al costo de la energía eléctrica por cuanto en Ecuador la energía es subsidiada y no existe mayor diferencia entre los precios.

Precio del sistema: Se establece el precio del sistema tomando en cuenta el costo de cada equipo más la mano de obra por la instalación.

Años de vida útil: Se toma en cuenta la vida útil del sistema que es de 20 años para los paneles solares y 10 años para las baterías e inversores.[35]

2.5.31.3. Función objetivo

En el contexto de optimización, la función objetivo expresada mediante la Ecuación 22. Sirve para la representación de la maximización de los beneficios económicos.

$$Max = \sum_{t=1}^T [[P_{Pr} \cdot E_{Pr} + P_c(E_c + E_b + E_R)] - [P_{CR}(E_R + CNE \cdot G_T + CNA \cdot E_{Eb})]] \quad (22)$$

Donde:

P_{pr} = Precio de la energía vendida.

P_c = Precio de energía consumida.

P_{CR} = Precio de energía comprada.

E_{Pr} = Energía producida por el sistema fotovoltaico.

E_b = Energía almacenada por las baterías.

E_R = Energía consumida del Sistema Eléctrico.

E_{Eb} = Energía enviada al Sistema de almacenamiento.

E_c = Energía consumida por la granja avícola.

G_T = Generación total del Sistema fotovoltaico

CNE = Costo nivelado de energía (panel solar).

CNA = Costo Nivelados de almacenamiento (banco de baterías).

Precio de la Energía vendida.

Calcular el precio de la energía vendida en un sistema fotovoltaico implica varios pasos y consideraciones que se detalla a continuación:

Producción Anual de Energía.

$$Panual = Potencia instalada (kW) * Horas Pico Solares * 365 días \quad (23)$$

$$P_{anual} = 3,4kW * 3,99 \frac{horas}{día} * 365 \frac{días}{año}$$

$$P_{anual} = 3,4 * 3,99 * 365 = 4946.17kWh/año$$

Producción total de Energía en 20 años

$$P_{total} = P_{anual} * Vida\ útil \quad (24)$$

$$P_{total} = 4946.19 \frac{kWh}{año} * 20\ años$$

$$P_{total} = 98923.8\ kWh$$

Costo total del sistema

$$Costo\ Total = Costo\ instalación + (Costo\ mantenimiento * Vida\ útil) \quad (25)$$

$$Costo\ Total = 6333,07USD + \left(\frac{10USD}{año} * 20\ años \right)$$

$$Costo\ total = 6333,07\ USD + 200\ USD$$

$$Costo\ total = 6533,07\ USD$$

$$P_{pr} = \frac{Costo\ total}{Producción\ total} \quad (26)$$

$$P_{pr} = \frac{6533,07\ USD}{98923,8\ kWh}$$

$$P_{pr} = 0,07\ USD/kWh$$

Precio de la energía consumida

El precio de la energía consumida, se toma en cuenta el costo de instalación y los costos operativos y de mantenimiento, es de aproximadamente 0,0729 USD/kWh. Este valor representa el costo promedio de generar cada Kilovatio-hora de energía con el sistema fotovoltaico durante su vida útil de 20 años.

$$P_c = 0,07\ USD/kWh$$

Precio de la energía comprada

El costo del kWh comprado se rige bajo los lineamientos del Ministerio de Energía y Minas que establece el costo de 10 centavos por kilovatio hora para los sectores residencial y comercial. [36]

$$P_{CR} = 0,10\ USD/kWh$$

Energía producida por el sistema fotovoltaico

En la Ecuación 23 se detalla el cálculo de la energía producida por el sistema fotovoltaico que es aproximadamente 4946,17 kWh de energía al año. Y durante la vida útil de 20 años como se explica en la Ecuación 24 el sistema producirá un total de aproximadamente 98923,8 kWh.

$$E_{Pr} = 4946,17 \text{ kWh}$$

Energía almacenada por el banco de baterías

$$E_b = \text{Capacidad total} * \left(\frac{\text{Estado de carga}}{100} \right) \quad (27)$$

$$E_b = 6,4 * \left(\frac{80}{100} \right)$$

$$E_b = 5,12 \text{ kWh}$$

Energía consumida del Sistema Eléctrico

Para determinar la energía consumida del Sistema eléctrico se toma en consideración la energía producida por el panel fotovoltaico y la energía almacenada por el banco de baterías, los mismos que sirven para autoconsumo de la avícola.

$$GT = \text{Rendimiento} * \text{Potencia panel} * \text{HSP} \quad (28)$$

$$GT = 0,3 * 3,4 \text{ kW} * 3,99$$

$$GT = 4,07 \text{ kWh}$$

$$E_R = \text{Consumo} - (G_T + E_b) \quad (29)$$

$$E_R = 12,258 \text{ kWh} - [4,07 \text{ kWh} + 5,12 \text{ kWh}]$$

$$E_R = 12,258 \text{ kWh} - 9,19 \text{ kWh}$$

$$E_R = 3,07 \text{ kWh}$$

$$E_c \text{ anual} = 3,07 \text{ kWh} * 365 \text{ días}$$

$$E_c \text{ anual} = 1120,55 \frac{\text{kWh}}{\text{año}}$$

Por lo que se determina que el sistema requiere tomar 3,07 kWh diario y 1120,55 kWh anual de la Red de distribución.

Energía enviada al sistema de almacenamiento

Para considerar la capacidad de las baterías se toma en cuenta 4 horas, esto debido a la curva de demanda eléctrico de la avícola, detallada anteriormente en la Figura 20, y en la misma se observa que durante las 6:00 am y 10:00 am se presenta baja demanda eléctrica y por ende el sistema abastece de energía a la avícola y el excedente servirá para almacenar en el banco de baterías.

$$GT = Rendimiento * Potencia panel * Hora \quad (30)$$

$$GT = 0,9 * 3,4kW * 1 hora$$

$$GT = 3,06 kWh$$

Tabla 21 Energía enviada al sistema de almacenamiento

| Hora | Generación Panel | Demanda | Energía excedente |
|--------------|------------------|----------|-------------------|
| 6:00 – 7:00 | 3,06 kWh | 1,48 kWh | 1,58 kWh |
| 7:00 – 8:00 | 3,06 kWh | 1,93 kWh | 1,13 kWh |
| 8:00 – 9:00 | 3,06 kWh | 2,17 kWh | 0,89 kWh |
| 9:00 – 10:00 | 3,06 kWh | 2,97 kWh | 0,09 kWh |
| | | | 3,69 kWh |

Se determina un valor total de 3,69 kWh excedentes que genera los paneles solares durante las 4 horas después de cubrir toda la demanda de la avícola, y por medio de la Ecuación 30 se obtiene la capacidad máxima de las baterías que es de 5,12 kWh, por lo cual la energía enviada al sistema de almacenamiento es de $E_{Eb} = 3,69 kWh$

Energía consumida por la granja avícola

$$E_c = Consumo diario * 365 \quad (31)$$

$$E_c = 12,258 \frac{kWh}{día} * 365 \frac{días}{año}$$

$$E_c = 4479,17 \frac{kWh}{año}$$

Generación total del sistema fotovoltaico

La generación total del sistema fotovoltaico es determinada por medio de la Ecuación 28.

$$GT = 4,07 kWh$$

Energía Total Anual

$$\begin{aligned}GT_{anual} &= GT * 365 \frac{\text{días}}{\text{año}} & (32) \\GT_{anual} &= 4,07 \frac{\text{kWh}}{\text{día}} * 365 \frac{\text{días}}{\text{año}} \\GT_{anual} &= 1485,55 \frac{\text{kWh}}{\text{año}}\end{aligned}$$

2.5.31.4. Variables de decisión.

Se establecen las variables de decisión, las mismas que son elementos claves para resolver el problema de optimización, en este caso se define la capacidad de potencia (X_1) en Kilovatios pico kWp a instalar en el Sistema fotovoltaico y la capacidad de almacenamiento del banco de baterías (X_2) en kWh.

2.5.31.5. Restricciones

Las restricciones en el modelo de optimización son condiciones que deben cumplir para la solución sea válida.

$$P_C < P_{CR} \quad (33)$$

La ecuación 33 determina la restricción que el precio de la energía consumida debe ser menor al precio de la energía comprada.

En la ecuación 34 esta restricción establece que la generación máxima de energía del sistema fotovoltaico (G_T) está determinada por el producto de la eficiencia del sistema (η), la radiación solar disponible (R_T), el área de los paneles solares (A), y una variable de capacidad de potencia (X_1)

$$G_T = (\eta \cdot R_T \cdot A)X_1 \quad (34)$$

2.5.32. Programación Optimización en el Software AMPL.

Para realizar la programación de la optimización en AMPL (A Mathematical Programming Language), es necesario definir el modelo de optimización, los datos y el archivo de comandos para resolver el problema.

2.5.32.1. Definición del Problema

El problema de optimización tiene como objetivo maximizar los beneficios económicos del sistema fotovoltaico en la Granja avícola. Las variables de decisión

son la capacidad de potencia del sistema fotovoltaico (X_1) y la capacidad de almacenamiento del banco de baterías (X_2). La función objetivo y las restricciones están basadas en la producción, consumo y costos de energía.

2.5.32.2. Estructura del Modelo AMPL.

El modelo está estructurado en tres partes principales: parámetros, variables y restricciones.

2.5.32.3. Parámetros

Los parámetros incluyen precios de energía (P_{pr}, P_c, P_{CR}), eficiencia del sistema (η), radiación solar (R_T), área de paneles (A), costos nivelados de energía (CNE, CNA) y la vida útil (T).

Tabla 22 Definición de parámetros

| | |
|--------------------|-------------|
| Parámetro 1 | param P_pr; |
| Parámetro 2 | param P_c; |
| Parámetro 3 | param P_CR; |
| Parámetro 4 | param eta; |
| Parámetro 5 | param R_T; |
| Parámetro 6 | param A; |
| Parámetro 7 | param CNE; |
| Parámetro 8 | param CNA; |
| Parámetro 9 | param T; |

2.5.32.4. Variables

Las variables de decisión son X_1 la capacidad de potencia del sistema fotovoltaico y X_2 la capacidad de almacenamiento del banco de baterías.

Tabla 23 Definición de variables

| | |
|-------------------|---------------|
| Variable 1 | var X_1 >= 0; |
| Variable 2 | var X_2 >= 0; |

2.5.32.5. Función objetivo

La función objetivo maximiza los beneficios económicos considerando ingresos por venta de energía y costos por compra y almacenamiento de energía.

maximize Beneficios:

$$\text{sum } \{t \text{ in } 1..T\} ((P_{pr} * E_{Pr}[t] + P_c * (E_c[t] + E_b[t] + E_R[t])) - (P_{CR} * (E_R[t] + CNE * G_T + CNA * E_{Eb}[t])));$$

2.5.33.6. Restricciones

Las restricciones aseguran que el precio de la energía consumida sea menor que el precio de la energía comprada y que la energía producida cumpla con la fórmula de generación total.

subject to Precio_Consumo:

$$P_c < P_{CR};$$

subject to Energia_Producida{t in 1..T}:

$$E_{Pr}[t] = \eta * R_T * A * X_1;$$

El uso de AMPL permite obtener valores óptimos para X_1 y X_2 , así como las energías producidas, almacenadas, consumidas y enviadas. Estos resultados son cruciales para entender la eficiencia y viabilidad económica del sistema.

- **Capacidad de Potencia Fotovoltaica (X_1):** Proporciona la cantidad óptima de capacidad de generación para maximizar los beneficios.
- **Capacidad de Almacenamiento (X_2):** Indica la cantidad óptima de energía que debe ser almacenada para minimizar costos y maximizar ingresos.
- **Generación Total (G_T):** Calculada a partir de la eficiencia, radiación y área, muestra la capacidad máxima de generación.
- **Beneficios Económicos:** Muestra la rentabilidad del sistema considerando ingresos y costos.

El modelo en AMPL está claramente estructurado con una separación precisa entre parámetros, variables y restricciones, facilitando su comprensión y modificación. Puede ser fácilmente adaptado a diferentes escenarios y tamaños de sistemas

fotovoltaicos y de almacenamiento ajustando los valores de los parámetros y las variables y proporciona una herramienta robusta para resolver problemas de optimización complejos, asegurando la obtención de una solución precisa y eficiente.

2.5.32.6. Datos obtenidos

En la investigación sobre la optimización de la granja avícola, se realiza un análisis exhaustivo utilizando AMPL (A Mathematical Programming Language) para maximizar los beneficios económicos. La inversión inicial del proyecto se estimó en \$6333,07, durante el proceso de optimización, se identificaron dos variables clave: la capacidad del banco de baterías y la capacidad de generación total del sistema fotovoltaico.

El valor optimizado de la inversión resultó ser de \$5585,87; lo cual representa una reducción significativa en comparación con la inversión inicial. Esta reducción se logró a través de la optimización de la capacidad del banco de baterías y del sistema fotovoltaico, asegurando una mayor eficiencia en el uso de recursos.

La capacidad del banco de baterías, que inicialmente era de 5,12 kWh, fue optimizada a 3,17 kWh. Esta disminución en la capacidad de las baterías implica un uso más eficiente del almacenamiento de energía, reduciendo costos sin comprometer la funcionalidad del sistema. La capacidad de generación total del sistema fotovoltaico se mantuvo en 4946,17 kWh, lo que asegura que la granja avícola pueda seguir generando suficiente energía para sus operaciones diarias.

Estos resultados reflejan una optimización efectiva que no solo reduce los costos iniciales de inversión, sino que también mejora la eficiencia energética de la granja. La capacidad ajustada del banco de baterías y la adecuada generación de energía fotovoltaica permiten a la granja operar de manera más económica y sostenible. Esta optimización es crucial para maximizar los beneficios a largo plazo, garantizando la viabilidad financiera y operacional de la granja avícola.

2.5.33. Factor de planta

El valor de factor de planta de un sistema fotovoltaico es una medida importante que refleja la eficiencia con la que el sistema convierte la energía solar disponible en energía eléctrica utilizable.

$$\text{Factor de Planta} = \frac{\text{Energía real generada}}{\text{Energía potencial máxima}}$$
$$\text{Factor de planta} = \frac{1485,55}{4946,7} = 0,23 = 23\%$$

Un factor de planta del 23% es adecuado y refleja un sistema que está operando de manera eficiente.

2.6. Conclusiones Capítulo II

En este capítulo se desarrolló la propuesta donde se detallan el análisis de los datos obtenidos en 12 meses de radiación solar con un valor promedio de $174,96 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2 \cdot \text{mes}}$, el mismo que es indispensable para los cálculos del estudio y también se especifica el valor de las horas pico solares que es de 3,99 HSP según la NASA.[37]

Se realiza el estudio de las cargas de la avícola para determinar el número de paneles solares, donde se obtuvo 12,58 kWh/día como energía diaria real, y se considera los valores de radiación y las horas solares pico para el cálculo total de paneles solares del sistema que son 10 paneles solares de 340 Wp y cuya configuración es de 5 grupos en paralelo y 2 paneles en serie.

Se considera el 100% de autonomía por parte del banco de baterías, cuya capacidad nominal para el sistema fotovoltaico es de 520 Ah; 5,12 kWh y por ende se considera un grupo de 4 baterías de Plomo ácido, cuya conexión es 4 baterías en serie con 2 grupo en paralelo.

Se obtiene el cálculo de los indicadores de rentabilidad del proyecto, donde se determina un valor positivo de la VAN y el valor porcentual del TIR es mayor a la tasa de interés.

El costo nivelado de energía y el costo nivelado de almacenamiento influyen directamente en los costos operativos del sistema. La optimización ha demostrado

que reducir estos costos a través de tecnologías más eficientes o economías de escala puede aumentar considerablemente la rentabilidad del sistema.

La optimización del sistema fotovoltaico y del banco de baterías mediante el uso del software AMPL y ha permitido identificar las capacidades óptimas de potencia y almacenamiento para maximizar los beneficios económicos de la granja avícola. Este enfoque ha demostrado ser efectivo para equilibrar la generación de energía, el almacenamiento y el consumo, logrando así una mayor rentabilidad.

CAPÍTULO III. APLICACIÓN Y/O VALIDACIÓN DE LA PROPUESTA.

3.1. Análisis de los resultados

Las especificaciones técnicas que se consideran en la implantación de un sistema fotovoltaico se relacionan con el cumplimiento del objetivo de abastecer energía en este caso con el sector avícola.

3.2. Capacidad óptima del Sistema Fotovoltaico (X_1)

La capacidad de generación del sistema fotovoltaico no ha sido modificada en el proceso de optimización, lo cual indica que la capacidad inicial de generación es adecuada y no necesita ajustes para mejorar la eficiencia o rentabilidad del sistema.

Mantener la misma capacidad indica que la configuración inicial ya era óptima para las necesidades energéticas de la granja avícola, asegurando un balance adecuado entre generación y consumo de energía.

La capacidad de generación del sistema fotovoltaico se mantiene constante en 4946,17 kWh antes y después de la optimización. Esto implica que:

- **Adecuación Inicial:** La capacidad inicial del sistema fotovoltaico fue correctamente dimensionada para las necesidades energéticas de la granja. No hubo necesidad de incrementar ni reducir esta capacidad, lo cual sugiere que la cantidad de energía generada es suficiente para cubrir el consumo energético de la granja.
- **Eficiencia de Generación:** La generación de energía solar está bien alineada con el consumo, evitando tanto déficit como exceso de energía que podría resultar en desperdicio o costos adicionales.

La optimización del sistema energético se centró en otros aspectos, como la capacidad del banco de baterías, pero no en la generación fotovoltaica. Esto puede deberse a varias razones técnicas:

- **Balance Energético:** La generación de 4946,17 kWh es adecuada para cubrir la demanda energética diaria y estacional de la granja, proporcionando un balance óptimo entre generación y almacenamiento.

- **Costos y Beneficios:** Incrementar la capacidad de generación más allá de los 4946,17 kWh podría no haber sido económicamente viable, ya que el costo adicional no se justificaría por una mejora significativa en la eficiencia o rentabilidad.

La capacidad constante de generación asegura una fiabilidad en el suministro de energía, crucial para las operaciones diarias de la granja avícola. Una capacidad adecuada garantiza que:

- **Operaciones Continuas:** Las actividades de la granja pueden continuar sin interrupciones debido a insuficiencias energéticas.
- **Reducción de Costos Operativos:** Mantener una capacidad constante evita costos adicionales en infraestructura y mantenimiento asociados con ajustes innecesarios en la capacidad de generación.

3.3.Capacidad óptima de almacenamiento (X_2)

La capacidad óptima del banco de baterías (X_2) en Kilovatios-hora (kWh) determina la cantidad de energía que puede ser almacenada y utilizada durante períodos de baja generación solar o alta demanda.

Tabla 24 Capacidad óptima de almacenamiento

| | |
|--|----------|
| Capacidad inicial del Banco de Baterías | 5,12 kWh |
| Capacidad Optimizada del Banco de Baterías | 3,17kWh |

En la Tabla 24 se puede observar que la optimización ha reducido la capacidad del banco de baterías de 5,12 kWh a 3,17 kWh.

La capacidad inicial de 5,12 kWh ha sido establecida para asegurar la reserva energética suficiente para períodos sin generación solar, como noche o días nublados. La capacidad optimizada de 3,17 kWh ha sido determinada a través de un análisis de consumo energético de la granja y la capacidad de generación del sistema fotovoltaico. Esto sugiere que una capacidad menor es suficiente para cubrir las necesidades energéticas diarias de la granja de manera eficiente.

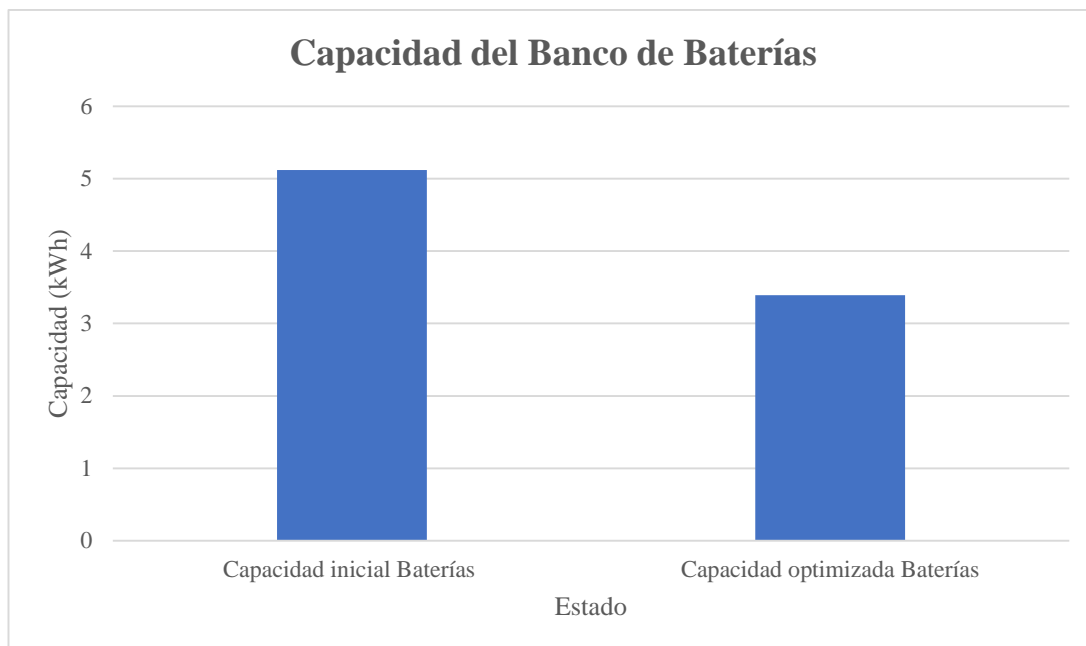


Figura 28 Capacidad del Banco de Baterías

En la Figura 28 se compara la capacidad inicial y la capacidad optimizada del banco de baterías en la granja avícola revela una reducción significativa en la capacidad de almacenamiento de energía, pasando de 5,12 kWh a 3,17 kWh. Este cambio resultante de un proceso de optimización, implica una disminución del 38% en la capacidad del banco de baterías, lo que refleja un ajuste preciso de las necesidades energéticas de la granja.

3.4. Generación Total del Sistema Fotovoltaico (G_T)

La generación total calculada a partir de la eficiencia del sistema, la radiación solar y el área de los paneles muestra la capacidad máxima de generación del sistema fotovoltaico. Los resultados indican que aumentar la eficiencia y el área de instalaciones puede incrementar significativamente la generación total, contribuyendo a mayores ingresos por venta de energía.

3.5. Beneficios económicos

Para detallar los beneficios económicos derivados de la optimización de la granja avícola, se considera los impactos directos e indirectos en las finanzas de la granja.

3.5.1. Reducción de la Inversión Inicial

En la Tabla 25 se detalla la optimización para maximizar los beneficios económicos y se determina un valor de \$5585,87 vs el costo de inversión inicial original cuyo valor es de \$6333,07 mostrando así un ahorro de \$747,2

Tabla 25 Reducción de la Inversión inicial

| | |
|-----------------------------|-----------|
| Inversión inicial | \$6333,07 |
| Inversión Optimizada | \$5585,87 |
| Ahorro | \$747,2 |

En la Figura 29 se observa el ahorro de los beneficios económicos de la inversión del sistema fotovoltaico en la granja avícola.

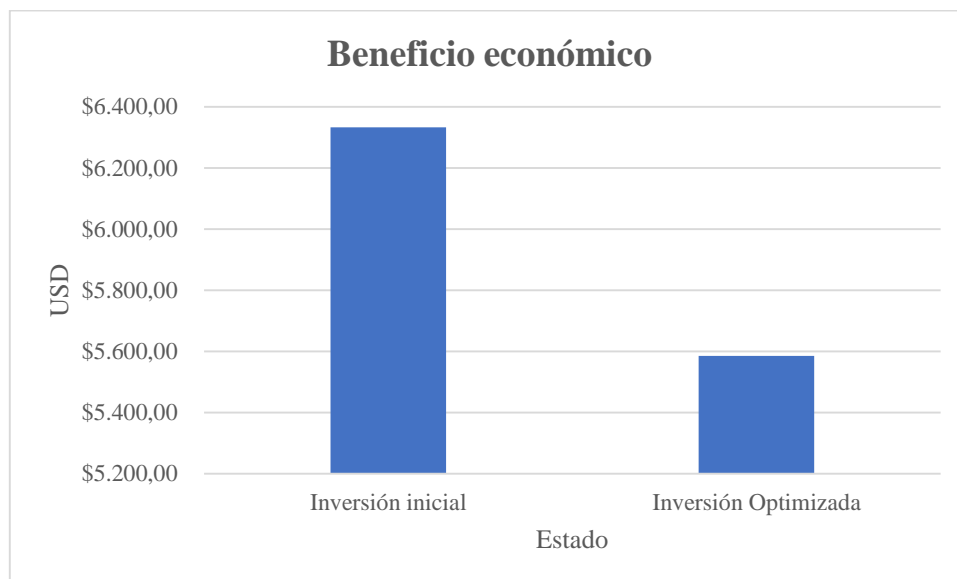


Figura 29 Beneficio económico

Se destaca una diferencia clara entre la inversión inicial y el valor de optimización, indicando una mejora significativa en la eficiencia y rentabilidad del sistema energético de la granja avícola. La optimización ha permitido reducir la inversión inicial en \$747,20, liberando capital y mejorando la sostenibilidad financiera del proyecto. Esta reducción de costos iniciales, combinada con una mejor utilización de los recursos energéticos, asegura una operación más eficiente y económicamente viable a largo plazo

La reducción en la inversión inicial sugiere que el proceso de optimización ha identificado maneras de configurar el sistema energético de manera más eficiente y rentable. Este ahorro puede deberse a varios factores:

- **Optimización de Componentes:** Como se ha visto en la reducción de la capacidad del banco de baterías, lo cual reduce los costos de compra y mantenimiento.
- **Mejor Utilización de Recursos:** Una configuración más ajustada y precisa de las necesidades energéticas de la granja, evitando inversiones en capacidades innecesarias o sobredimensionadas.

3.6. Conclusiones del Capítulo III

En este capítulo se detalla todos los resultados obtenidos de la optimización realizada donde:

Los precios de la energía vendida y comprada juegan un papel crucial en la determinación de los beneficios económicos. La optimización ha revelado que es esencial mantener un precio de energía consumida inferior al precio de energía comprada para garantizar beneficios positivos. Esto subraya la importancia de negociar tarifas energéticas favorables y considerar políticas de energía renovable.

La optimización del sistema fotovoltaico y del banco de baterías mediante AMPL proporciona una estrategia robusta para maximizar los beneficios económicos. Los resultados sugieren que la capacidad de generación y almacenamiento, junto con una gestión eficiente de los costos y precios de energía, son cruciales para la rentabilidad del sistema. La sensibilidad a los precios de energía y la reducción de costos operativos deben ser considerados en la planificación y ejecución del proyecto para asegurar su éxito a largo plazo.

La capacidad de generación del sistema fotovoltaico fue adecuadamente dimensionada desde el inicio, y la optimización del sistema confirmó esta adecuación. La constante de 4946,17 kWh antes y después de la optimización subraya que no se requerían cambios en la generación, centrando los esfuerzos de optimización en otros componentes del sistema, como el almacenamiento de

energía. Esta estabilidad en la capacidad de generación contribuye a la eficiencia operativa y la rentabilidad a largo plazo de la granja avícola.

Se destaca una diferencia clara entre la inversión inicial y el valor de optimización, indicando una mejora significativa en la eficiencia y rentabilidad del sistema energético de la granja avícola. La optimización ha permitido reducir la inversión inicial en \$747,20, liberando capital y mejorando la sostenibilidad financiera del proyecto. Esta reducción de costos iniciales, combinada con una mejor utilización de los recursos energéticos, asegura una operación más eficiente y económicamente viable a largo plazo

La reducción de la capacidad del banco de baterías de 5,12 kWh a 3,17 kWh ha permitido una optimización significativa del sistema energético de la granja avícola. Esta optimización no solo reduce los costos de inversión y mantenimiento, sino que también mejora la eficiencia operativa y contribuye a la sostenibilidad del sistema. La capacidad optimizada asegura un balance adecuado entre generación y almacenamiento de energía, garantizando una operación eficiente y económicamente viable a largo plazo.

3.7. Conclusiones generales

Se presenta una revisión bibliográfica mediante libros, artículos científicos y tesis, a través de una búsqueda enfocada a los diferentes modelos de optimización y los aspectos que se deben considerar.

El sistema fotovoltaico propuesto, con 10 paneles solares de 340Wp y un banco de baterías de 520 Ah, es técnicamente viable y financieramente rentable para cubrir la demanda energética de la avícola, con indicadores positivos de VAN y TIR.

La optimización del sistema fotovoltaico y del banco de baterías ha mejorado significativamente la rentabilidad y eficiencia operativa del sistema energético de la granja avícola, reduciendo costos iniciales y garantizando una operación sostenible a largo plazo.

3.8.Recomendaciones

El mantenimiento de los sistemas fotovoltaicos lo debe realizar solo personal calificado para garantizar su vida útil y su correcto funcionamiento y por ende de debe tomar en consideración los gastos y la logística que implica este sistema.

Procurar que los paneles se encuentren siempre limpios para que se aproveche al máximo y de mejor manera la energía solar, porque no ocurre lo mismo si de pronto éstos se encuentran sucios

Se recomienda que todos los equipos y materiales del sistema sean de las características eléctricas y técnicas especificadas detalladas en el diseño si de pronto se estima la instalación de este sistema fotovoltaico posteriormente a futuro.

Se recomienda explorar la integración de otras fuentes de energía renovable y su impacto en la optimización del sistema, analizar escenarios a largo plazo que incluyan variaciones en los precios de energía y costos tecnológicos y la evaluación de políticas gubernamentales y subsidios en el contexto de energías renovables y su efecto en la rentabilidad de sistemas fotovoltaicos y de almacenamiento.

Referencias bibliográficas

- [1] Prado Gaibor Byron Xavier, “Análisis técnico-económico de una instalación fotovoltaica en consumidores residenciales en áreas rurales aisladas,” Universidad Politécnica Salesiana, Quito, 2020.
- [2] Salazar Flores Paúl Francisco, “Desarrollo de un modelo de evaluación técnico económico para la optimización de inversiones en micro generación fotovoltaica para usuarios comerciales en Ecuador,” Escuela Politécnica Nacional, Quito, 2021.
- [3] Guerra Palma Hjalmar Germánico and Orbea Hinojosa Mirian Del Carmen, “Optimización de despacho para la gestión de una micro red aislada en el sector de Salache,” Universidad Técnica de Cotopaxi, Latacunga, 2021.
- [4] Escobar Galindo Jonathan Javier, “Evaluación de la favorabilidad económica de sistemas fotovoltaicos en Colombia, a partir de la optimización de la inversión en función de las condiciones de demanda y la irradiación solar con base en el modelo económico de d. Yogi Goswami,” Universidad Libre, Bogotá D.C., 2019.
- [5] R. Abrao, D. Paschoareli, A. Silva, and M. Lourenco, “Economic viability of installations of photovoltaic microgeneration in residencies of a Smart City,” *6th International Conference on Renewable Energy Research and Applications*, pp. 785–787, 2017.
- [6] Pereira M. and Sousa J., “Monitoring Systems used in photovoltaic microgeneration,” *IEEE LATIN AMERICA TRANSACTIONS*, vol. 15, pp. 1671–1676, 2017.
- [7] D. Delgado, M. Carvalho, L. M. C. Junior, R. Abrahão, and R. Chacartegui, “Photovoltaic solar energy in the economic optimisation of energy supply and conversion,” *IET Renewable Power Generation*, vol. 12, no. 11, pp. 1263–1268, Aug. 2018, doi: 10.1049/iet-rpg.2018.0090.
- [8] E. Iakovleva, D. Guerra, P. Tcvetkov, and Y. Shklyarskiy, “Technical and Economic Analysis of Modernization of Solar Power Plant: A Case Study

- from the Republic of Cuba,” *Sustainability (Switzerland)*, vol. 14, no. 2, Jan. 2022, doi: 10.3390/su14020822.
- [9] Castejón Agustín and Santamaría Germán, “Instalaciones solares fotovoltaicas,” *EDITEX*, 2010.
- [10] Campoverde Benavidez Walter Miguel, “Análisis del factor de planta de un sistema fotovoltaico en la provincia de Cotopaxi a partir de su disponibilidad de generación y la radiación solar,” Universidad Técnica de Cotopaxi, Latacunga-Ecuador, 2021.
- [11] Pérez Romero Diego Fernando, “Análisis de la radiación solar para determinar un sistema fotovoltaico que permita abastecer la demanda eléctrica de un módulo didáctico del Instituto Tecnológico Francisco de Orellano, ciudad de Puyo Provincia de Pastaza,” Universidad Técnica de Cotopaxi, Latacunga, 2022.
- [12] Puente Bosquez Samantha Marlene, “Diseño de una micro-red basada en energía solar fotovoltaica y la factibilidad técnico-económica para su implementación en los sectores rurales y urbano marginales del Cantón ‘Quevedo-Sector024,’” Universidad Técnica de Cotopaxi, Latacunga, 2022.
- [13] Colegio oficial ingenieros de Telecomunicaciones, *Energía Solar Fotovoltaica*, vol. 1. Madrid: Inforama S.A, 2002.
- [14] Lema Escobar Alexander, “Diseño de una central fotovoltaica para abastecer la demanda de energía eléctrica a la Granja Avícola ‘Villa’ ubicada en Latacunga Parroquia Juan Montalvo Barrio San José,” 2021.
- [15] Oscar Perpiñán Lamigueiro, *Energía Solar Fotovoltaica*, 1st ed., vol. 1. España, 2013.
- [16] M. A. Abella, “Sistemas fotovoltaicos.”
- [17] Agencia de Regulación y control de energía y recursos naturales no renovables, *ARCERNR-001/2021*. Ecuador, 2021, pp. 1–5.

- [18] Ferreira Fabián and Torrado Miranda, “Evaluación técnico-económica de un sistema de generación solar fotovoltaico para la Institución Educativa Colegio Nuestra Señora de Belén sede principal Cúcuta,” San José de Cúcuta, 2021.
- [19] P. Meier, M. Vagliasindi, and M. Imran, *The Design and Sustainability of Renewable Energy Incentives: An Economic Analysis*. The World Bank, 2014. doi: 10.1596/978-1-4648-0314-7.
- [20] Carreño Pérez Juan Carlos, “Herramienta sistematizada de análisis Técnico-económico simplificado, para la generación fotovoltaica y eólica en las zonas no interconectadas de Colombia,” Universidad Libre de Colombia, Bogotá , 2016.
- [21] A. Dávila Flores *et al.*, “Paradigma económico. Revista de economía regional y sectorial.”
- [22] C. Spagnoletta, “Costo Nivelado de la Energía (LCOE): Nuevo enfoque para el análisis de proyectos de energía,” Universidad Torcuato di Tella, 2021.
- [23] Di Chiara Lorena, Coppes Enzo, Casaravilla Gonzalo, and Chaer Ruben, “Optimización de las inversiones en generación eléctrica del Uruguay 2016-2046,” Universidad de la República Oriental de Uruguay, Uruguay, 2016.
- [24] L. Escobar, Duque Alejandro, José Melchor, and Antonio Escobar, “Planeamiento de sistemas de transmisión de energía eléctrica usando AMPL,” *Scientia et Technica Año XVII*, vol. 51, p. 25, Aug. 2012.
- [25] Sandoval Honores Alejandro Andrés, “Estudio técnico y económico para proyecto de estacionamientos residenciales con techos solares y conexión NET BILLING en la Ciudad de Antofagasta,” 2022.
- [26] Olvera Miranda José and Montalvo Yagual Luis, “Análisis y diseño de una planta de generación de energía eléctrica con paneles solares fotovoltaicos conectados a la red de distribución eléctrica de la Sub estación Santa Ana en Guayaquil,” Escuela Superior Politécnica del Litoral, Guayaquil, 2015.

- [27] F. R. Riccio Anastacio, “Seguidor solar a dos ejes cuya posición se calcula utilizando los ángulos de elevación y Azimut del sol en Guayaquil,” *RECIMUNDO*, vol. 6, no. 1, pp. 225–231, Feb. 2022, doi: 10.26820/recimundo/6. (1). ene.2022.225-231.
- [28] El clima y tiempo, “El clima de Pelileo.” Accessed: Mar. 25, 2024. [Online]. Available: <https://elclimaytiempo.com/ecuador/pelileo-1185771/>
- [29] R. Dávila, D. A. Vallejo, R. Soria, and F. Ordoñez, “Evaluation of the technical and economic potential of solar photovoltaic technology for electrical microgeneration in Quito Metropolitan District residential sector,” no. 17, pp. 80–91, 2020.
- [30] J. Muñoz, M. Cárdenas, and J. Heredia, “Segmentación de clientes residenciales con fines de autoabastecimiento fotovoltaico mediante índices de rentabilidad en Ecuador,” *Revista ID Tecnológico*, vol. 18, no. 2, pp. 32–43, 2022, [Online]. Available: <http://revistas.utp.ac>
- [31] Urrutia Hermosilla Javier Alfonso, “Evaluación de factibilidad técnico económica y estratégica de un modelo de negocio de soluciones de generación de energía solar en cubiertas de instalaciones industriales de pequeña o mediana escala.,” Universidad de Chile, Santiago de Chile, 2021.
- [32] G. D. Valdés-González, E. R. Rodríguez-Ponce, C. Miranda-Visa, and J. Lillo-Sotomayor, “Viability study of photovoltaic systems as distributed sources of energy in the city of Arica, Chile,” *Informacion Tecnologica*, vol. 31, no. 3, pp. 249–256, Jun. 2020, doi: 10.4067/S0718-07642020000300249.
- [33] Expansión, “Bono de Estados Unidos a 10 años ,” Datos Macro. Accessed: Jul. 22, 2024. [Online]. Available: <https://datosmacro.expansion.com/bono/usa>
- [34] M. del C. Hernández, *Introducción a la Programación Lineal*. 2007.
- [35] Arequipa Checa Juan Alex, “Optimización de inversiones para mejora de la continuidad del suministro de la Compañía Eléctrica Sucre S.A,” Sucre, 2015.

- [36] Ministerio de Energía y Minas, “Costo de la tarifa eléctrica se mantiene para sectores residencial y comercial; industriales recibirán incentivos por autogeneración de energía,” Boletín de Prensa. Accessed: Jul. 24, 2024. [Online]. Available: <https://www.recursosyenergia.gob.ec/costo-de-la-tarifa-electrica-se-mantiene-para-sectores-residencial-y-comercial-industriales-recibiran-incentivos-por-autogeneracion-de-energia/>
- [37] J. Angamarca and R. Guevara, “Diseño de microgeneración fotovoltaica conectada a la red para el suministro eléctrico de los centros operativos y agencias de la EEQ ubicados al noroccidente y sur de la ciudad de Quito,” Escuela Politécnica Nacional, Quito, 2020.


ANEXOS

ANEXO A: Valores de irradiación solar del sector obtenido de la base de datos del Software PVSyst.

| | | | | | | | | | | | | | | |
|--|--|-------|-------|-------|-------------------|-------------------|-------|-------|-------|-----------------|-----------|-------------|----------------|-------------------------|
| PVSYST V6.81 | | | | | | | | | | | | 20/07/23 | Página 1/1 | |
| Definición de un sitio geográfico | | | | | | | | | | | | | | |
| Sitio geográfico | Huambalito | | | | | | | | | | | País | Ecuador | |
| | Archivo Huambalito_MN72.SIT del 00/00/00 00h00 | | | | | | | | | | | | | |
| Ubicación | | | | | Latitud | -1.37° S | | | | Longitud | -78.54° W | | | |
| Tiempo definido como | | | | | Hora Legal | Huso horario UT-5 | | | | Altitud | 3007 m | | | |
| Valores meteorológicos mensuales | Origen Meteorom 7.2, Sat=100% | | | | | | | | | | | | | |
| | Ene. | Feb. | Mar. | Abr. | May. | Jun. | Jul. | Ago. | Sep. | Oct. | Nov. | Dic. | Año | |
| Hor. global | 180.1 | 160.2 | 180.9 | 172.0 | 167.9 | 166.6 | 165.0 | 177.3 | 183.9 | 192.2 | 172.6 | 180.9 | 2099.6 | kWh/m ² .mes |
| Hor. diffuse | 72.0 | 71.1 | 71.3 | 69.1 | 69.5 | 57.5 | 61.9 | 64.2 | 68.2 | 62.2 | 60.0 | 66.4 | 793.4 | kWh/m ² .mes |
| Extraterrestrial | 316.7 | 294.1 | 326.5 | 304.1 | 295.6 | 274.5 | 287.2 | 303.3 | 308.9 | 324.0 | 307.8 | 312.2 | 3654.8 | kWh/m ² .mes |
| Clearness Index | 0.569 | 0.545 | 0.554 | 0.566 | 0.568 | 0.607 | 0.575 | 0.585 | 0.595 | 0.593 | 0.561 | 0.579 | 0.574 | |
| Amb. temper. | 13.2 | 13.1 | 13.0 | 12.8 | 13.0 | 12.1 | 12.2 | 12.3 | 12.5 | 13.4 | 13.1 | 13.3 | 12.8 | °C |
| Wind velocity | 3.5 | 3.5 | 3.1 | 3.0 | 3.6 | 4.4 | 5.0 | 4.9 | 4.4 | 3.5 | 3.0 | 3.1 | 3.7 | m/s |
| Trayectoria solar en Huambalito, (Lat. -1.3653° S, long. -78.5447° W, alt. 3007 m) - Hora Legal | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | |

Traducción sin garantía, sólo el texto inglés está garantizado.

ANEXO B: Características técnicas del panel fotovoltaico ERA SOLAR POLYCRISTALLINE 72 CELL SERIES



ERA SOLAR

ESPMC
Polycrystalline Solar Module

KEY FEATURES

- 5 Busbar Solar Cell:** 5 busbar solar cell adopts new technology to improve the efficiency of modules, offers a better aesthetic appearance, making it perfect for rooftop installation.
- High Power Output:** Polycrystalline 72-cell module achieves a power output up to 340Wp.
- Low-light Performance:** Advanced glass and surface texturing allow for excellent performance in low-light environments.
- Reliable Warranty:** 10 years' product warranty. Power warranty of 90% up to 10 years and 80% up to 25 years.

WATTS POSITIVE TOLERANCE **10 YEARS PRODUCT WARRANTY** **10 YEARS PERFORMANCE GUARANTEE 90%** **25 YEARS PERFORMANCE GUARANTEE 80%**

Zhejiang ERA Solar Technology Co., Ltd.
www.erasolar.com.cn

ERA SOLAR
WORLDWIDE

POLYCRISTALLINE, 72-CELL SERIES

ELECTRICAL PERFORMANCE

| | | | | | |
|---|--|-------|--------|-------|-------|
| Module type: ESMC | 320 | 325 | 330 | 335 | 340 |
| Maximum Power(Wp) | 320W | 325W | 330W | 335W | 340W |
| Open circuit Voltage(Voc) | 45.45V | 45.8V | 45.75V | 46.1V | 46.4V |
| Short circuit Current(Isc) | 9.1A | 9.2A | 9.3A | 9.38A | 9.45A |
| Maximum Power Voltage(Vm) | 37.65V | 37.8V | 37.65V | 38.2V | 38.5V |
| Maximum Power Current(Imp) | 8.5A | 8.6A | 8.7A | 8.77A | 8.84A |
| Module efficiency | 18.5% | 18.8% | 17% | 17.2% | 17.5% |
| Maximum Series Fuse | 15A | | | | |
| Watts positive tolerance | 0+3% | | | | |
| Number of Diode | 3 | | | | |
| Standard Test Conditions | 1000W/m ² , 25°C, AM 1.5 | | | | |
| Maximum System Voltage | 1000VDC | | | | |
| Temperature Coefficient Isc | +0.0658%/°C | | | | |
| Temperature Coefficient Voc | -0.2960%/°C | | | | |
| Temperature Coefficient Pmp | -0.3880%/°C | | | | |
| Normal Operating Cell Temperature | -40°C ~ +85°C | | | | |
| Load Capacity for the cover of the module (glass) | 6400Pa(IEC61215)(snow) | | | | |
| Load Capacity for the front & back of the module | 2400Pa(IEC61215)(wind) | | | | |
| Product Certificate | TUV/IEC 61215, IEC 61730, CE, ROHS, PID Resistant, INMETRO | | | | |
| Company Certificate | ISO9001, ISO14001, ISO18001 | | | | |

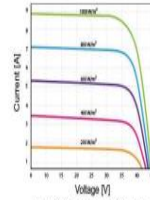
MECHANICAL CHARACTERISTICS

| | |
|---|---|
| Front cover (material / thickness) | low-iron tempered glass / 3.2mm |
| Backsheet (color) | TPT in white |
| Cell (quantity / material / dimensions) | 72 / Polycrystalline silicon / 156.75x156.75mm |
| Frame (material / color) | aluminum hollow chamber frame on each side anodized aluminum alloy / silver |
| Junction box (protection degree) | IP68 |
| Cables & Plug connectors | 2x600mm / 4mm ² & MCA compatible |
| Module Dimensions (L / W / H) | 1656x912x40mm |
| Module Weight | 20 Kg |
| Application class | Class A |
| Electrical protection class | Class II |
| Fire safety class | Class C |

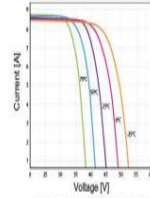
PACKING

| Container Size | Units/Pallet (PCS) | Weight/Pallet (KG) | Pallet Measurement (mm) | Units/Container (PCS) |
|----------------|--------------------|--------------------|-------------------------|-----------------------|
| 20GP | 26 | 570 | 2000x1130x120 | 260 |
| 40HQ | 26 | 570 | 2000x1130x120 | 627 |
| | 31 | 676 | 2000x1130x140 | |

CURRENT-VOLTAGE CURVES

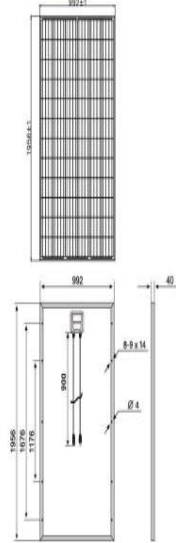


Module characteristics at constant module temperatures (25°C) and different levels of irradiance.



Module characteristics at different module temperatures and constant module irradiance (1.000 W/m²).

MODULE DIAGRAM



ERA SOLAR and the ERA SOLAR logo are trademarks or registered trademarks of ERA SOLAR Corporation.
© October 2016 ERA SOLAR Corporation. All rights reserved. Specifications included in this datasheet are subject to change without notice.

ANEXO C: HOJA DE DATOS TÉCNICOS BATERÍA DE PLOMO ÁCIDO FS 260.



Baterías FORMULA STAR SOLAR

Monoblock 12V Solar Plomo-Ácido Abierto (VLA)

| FS SOLAR | Modelo | V | Capacidad Ah C100 | Medidas máx. (mm) | | |
|---------------------------|--------------|----|-------------------|-------------------|-------|------|
| | | | | Largo | Ancho | Alto |
| FORMULA STAR SOLAR | | | | | | |
| | FS 70 SOLAR | 12 | 66 | 242 | 175 | 190 |
| | FS 80 SOLAR | 12 | 80 | 278 | 175 | 190 |
| | FS 110 SOLAR | 12 | 105 | 353 | 175 | 190 |
| | FS 155 SOLAR | 12 | 155 | 513 | 189 | 223 |
| | FS 200 SOLAR | 12 | 200 | 513 | 223 | 223 |
| | FS 260 SOLAR | 12 | 260 | 518 | 276 | 242 |

Elementos 2V Estacionario-Solar Plomo-Ácido Abierto (VLA)

- De acuerdo a la normativa DIN 40736-1 (Elementos OPzS), IEC 60896-11, IEC 62485-2 e IEC 61427.
- Placa positiva tubular. Mantenimiento mínimo gracias al bajo contenido en antimonio y una mayor reserva de electrolito.
- Clasificación Eurobat: Long Life (diseño de vida de 20 años a 20°C). Contenedor transparente de SAN
- 2.400 ciclos de vida al 60% de profundidad de descarga a 20°C.

| Foto producto | Modelo | Descripción | Capacidad (Ah) C10 (1,8 V/Elm, 20°C) | Capacidad (Ah) C100 | Medidas máx. (mm) | | | Peso Kg |
|---------------|---------|--------------|--------------------------------------|---------------------|-------------------|-------|------|---------|
| | | | | | Largo | Ancho | Alto | |
| | FS 100 | 2 OPzS 100 | 126 | 184 | 103 | 206 | 380 | 13,8 |
| | FS 150 | 3 OPzS 150 | 180 | 258 | 103 | 206 | 380 | 15,7 |
| | FS 200 | 4 OPzS 200 | 215 | 295 | 103 | 206 | 380 | 17,5 |
| | FS 250 | 5 OPzS 250 | 270 | 373 | 124 | 206 | 380 | 21,4 |
| | FS 300 | 6 OPzS 300 | 324 | 448 | 145 | 206 | 380 | 25,7 |
| | FS 350 | 5 OPzS 350 | 396 | 544 | 124 | 206 | 496 | 28,4 |
| | FS 420 | 6 OPzS 420 | 474 | 651 | 145 | 206 | 496 | 33,5 |
| | FS 490 | 7 OPzS 490 | 541 | 739 | 166 | 206 | 496 | 38,6 |
| | FS 500 | 5 OPzS 500 | 609 | 886 | 145 | 206 | 671 | 42,0 |
| | FS 600 | 6 OPzS 600 | 672 | 949 | 145 | 206 | 671 | 45,8 |
| | FS 700 | 7 OPzS 700 | 836 | 1207 | 191 | 210 | 671 | 60,0 |
| | FS 800 | 8 OPzS 800 | 893 | 1256 | 191 | 210 | 671 | 63,8 |
| | FS 900 | 9 OPzS 900 | 1028 | 1458 | 233 | 210 | 671 | 73,0 |
| | FS 1000 | 10 OPzS 1000 | 1114 | 1565 | 233 | 210 | 671 | 78,2 |
| | FS 1100 | 11 OPzS 1100 | 1287 | 1852 | 275 | 210 | 674 | 82,4 |
| | FS 1200 | 12 OPzS 1200 | 1329 | 1874 | 275 | 210 | 671 | 91,3 |
| | FS 1400 | 11 OPzS 1400 | 1623 | 2251 | 275 | 210 | 821 | 110,5 |
| | FS 1500 | 12 OPzS 1500 | 1630 | 2195 | 275 | 210 | 821 | 115,1 |
| | FS 1700 | 14 OPzS 1700 | 1978 | 2728 | 397 | 212 | 797 | 143,3 |
| | FS 1875 | 15 OPzS 1875 | 2114 | 2879 | 397 | 212 | 797 | 148,9 |
| | FS 2000 | 16 OPzS 2000 | 2186 | 2933 | 397 | 212 | 797 | 154,5 |
| | FS 2250 | 18 OPzS 2250 | 2689 | 3723 | 487 | 212 | 797 | 184,0 |
| | FS 2500 | 20 OPzS 2500 | 2926 | 4017 | 487 | 212 | 797 | 201,0 |
| | FS 2750 | 22 OPzS 2750 | 3191 | 4392 | 576 | 212 | 800 | 153,7 |
| | FS 3000 | 24 OPzS 3000 | 3361 | 4555 | 576 | 212 | 797 | 230,0 |
| | FS 3250 | 26 OPzS 3250 | 3510 | 4671 | 576 | 212 | 800 | 175,8 |

Elementos 2V Estacionario-Solar Plomo-Ácido Abierto (VLA)-Recipiente Traslúcido

- De acuerdo a la normativa EN 50272-2, IEC 60896-11 y IEC 61427.
- Placa positiva tubular. Mantenimiento mínimo gracias a una mayor reserva de electrolito y bajo contenido en antimonio.
- Clasificación Eurobat: Long Life (diseño de vida de 18 años a 20°C). Contenedor de polipropileno translúcido.
- 2.000 ciclos de vida al 60% de profundidad de descarga a 20°C.

| Foto producto | Modelo | Capacidad (Ah) C10 (1,8 V/Elm, 20°C) | Capacidad (Ah) C120 | Medidas máx. (mm) | | | Peso Kg |
|---------------|------------|--------------------------------------|---------------------|-------------------|-------|------|---------|
| | | | | Largo | Ancho | Alto | |
| | 2 FST 215 | 146 | 215 | 65 | 198 | 435 | 11,5 |
| | 3 FST 310 | 212 | 310 | 83 | 198 | 435 | 15,4 |
| | 3 FST 390 | 269 | 392 | 83 | 198 | 505 | 18,4 |
| | 4 FST 500 | 348 | 503 | 101 | 198 | 505 | 23,3 |
| | 5 FST 605 | 422 | 605 | 119 | 198 | 505 | 28,0 |
| | 4 FST 720 | 516 | 721 | 101 | 198 | 640 | 30,5 |
| | 5 FST 860 | 622 | 860 | 119 | 198 | 640 | 36,9 |
| | 6 FST 965 | 711 | 969 | 137 | 198 | 640 | 43,4 |
| | 7 FST 1270 | 900 | 1271 | 174 | 198 | 640 | 51,6 |
| 8 FST 1380 | 991 | 1382 | 192 | 198 | 640 | 58,1 | |

ANEXO D: HOJA INFORMATIVA DE DATOS TÉCNICOS INVERSOR GROWATT SPT 3000 TL LVM-48P

| Hoja de Datos | SPF 3000TL LVM-ES |
|--|---|
| Voltaje de Batería | 48VDC |
| Tipo de Batería | Litio/Plomo Acido |
| Salida del Inversor | |
| Potencia nominal | 3000VA/ 3000W |
| Conexión en paralelo | Sí, 6 unidades máx |
| Voltaje de CA(Modo batería) | 100Vac/110Vac/120Vac @ 50/60Hz |
| Sobretensión | 6000VA |
| Eficiencia max | 90% |
| Tipo de onda | Onda senoidal pura |
| Tiempo de transferencia | Usual 10ms, Max, 20 ms |
| Cargador solar | |
| Máxima potencia FV | 4000W |
| Rango de voltaje del MPPT | 120VDC ~ 250VDC |
| Número de MPPTs/Cadenas por MPPT | 1/1 |
| Max Voltaje de circuito abierto FV | 250VDC |
| Corriente máxima de carga | 80A |
| Cargador CA | |
| Corriente de carga | 40A |
| Voltaje de entrada CA | 120VAC |
| Rangos de voltaje | 95-140VAC (Para computadoras); 65-140VAC (Para electrodomésticos) |
| Rango de frecuencia | 50hz/60hz (auto-detección) |
| Datos generales | |
| Protección Ambiental | IP20 |
| Dimensiones (ancho/altura/profundidad) | 320/470/135mm |
| Peso | 12kg |
| Entorno operativo | |
| Humedad | 5% a 95% Humedad Relativa(No condensada) |
| Temperatura de Operación | 0°C - 60°C |
| Temperatura de almacenamiento | -15°C - 60°C |