



UNIVERSIDAD INDOAMÉRICA
FACULTAD DE INGENIERÍAS
CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

TEMA:

**DISEÑO DE UN SISTEMA DE ENERGÍA RENOVABLE PARA UNA FINCA
UBICADA EN ILLOLÁN, PICHINCHA**

Trabajo de Integración Curricular previo a la obtención del título de Ingeniero Industrial

Autor

Alcasiga Ushiña Widinson Javier

Tutor

M.Sc. Segura D´ Rouville Juan Joel

QUITO– ECUADOR
2024

**AUTORIZACIÓN POR PARTE DEL AUTOR PARA LA CONSULTA,
REPRODUCCIÓN PARCIAL O TOTAL, Y PUBLICACIÓN ELECTRÓNICA DEL
TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR**

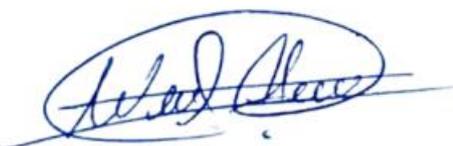
Yo, Alcasiga Ushiña Widinson Javier, declaro ser autor del Trabajo de Integración Curricular con el nombre “Diseño de un sistema de energía renovable para una finca ubicada en Illolán, Pichincha”, como requisito para optar al grado de Ingeniero Industrial y autorizo al Sistema de Bibliotecas de la Universidad Tecnológica Indoamérica, para que con fines netamente académicos divulgue esta obra a través del Repositorio Digital Institucional (RDI-UTI).

Los usuarios del RDI-UTI podrán consultar el contenido de este trabajo en las redes de información del país y del exterior, con las cuales la Universidad tenga convenios. La Universidad Tecnológica Indoamérica no se hace responsable por el plagio o copia del contenido parcial o total de este trabajo.

Del mismo modo, acepto que los Derechos de Autor, Morales y Patrimoniales, sobre esta obra, serán compartidos entre mi persona y la Universidad Tecnológica Indoamérica, y que no tramitaré la publicación de esta obra en ningún otro medio, sin autorización expresa de la misma. En caso de que exista el potencial de generación de beneficios económicos o patentes, producto de este trabajo, acepto que se deberán firmar convenios específicos adicionales, donde se acuerden los términos de adjudicación de dichos beneficios.

Para constancia de esta autorización, en la ciudad de Quito, a los 30 días del mes de octubre de 2024, firmo conforme:

Autor: Alcasiga Ushiña Widinson Javier

Firma: 

Número de Cédula: 1727506212

Dirección: Provincia, Machachi, Alóag, El Cortijo.

Correo Electrónico: walcasiga@indoamerica.edu.ec

Teléfono: 0969192143

APROBACIÓN DEL TUTOR

En mi calidad de Tutor del Trabajo de Integración Curricular “DISEÑO DE UN SISTEMA DE ENERGÍA RENOVABLE PARA UNA FINCA UBICADA EN ILLOLÁN, PICHINCHA” presentado por Alcasiga Ushiña Widinson Javier, para optar por el Título Ingeniero Industrial,

CERTIFICO

Que dicho Trabajo de Integración Curricular ha sido revisado en todas sus partes y considero que reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a la presentación pública y evaluación por parte los Lectores que se designe.

Quito, 30 de octubre del 2024

.....

M.Sc. Segura D´ Rouville Juan Joel

DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD

Quien suscribe, declaro que los contenidos y los resultados obtenidos en el presente Trabajo de Integración Curricular, como requerimiento previo para la obtención del Título de Ingeniero Industrial, son absolutamente originales, auténticos y personales y de exclusiva responsabilidad legal y académica del autor

Quito, 30 de octubre de 2024



.....
Alcasiga Ushiña Widinson Javier
1727506212

APROBACIÓN DE LECTORES

El Trabajo de Integración Curricular ha sido revisado, aprobado y autorizada su impresión y empastado, sobre el Tema: DISEÑO DE UN SISTEMA DE ENERGÍA RENOVABLE PARA UNA FINCA UBICADA EN ILLOLÁN, PICHINCHA, previo a la obtención del Título de Ingeniero Industrial, reúne los requisitos de fondo y forma para que el estudiante pueda presentarse a la sustentación del Trabajo de Integración Curricular.

Quito, 30 de octubre de 2024

.....

M.Sc. Topón Visarrea Blanca Liliana

LECTOR PRINCIPAL

.....

M.Sc. Sarmiento Ortiz Fabian Alberto

LECTOR

DEDICATORIA

Con mucho cariño dedico este trabajo a mis padres Pedro Alcasiga y Julia Ushiña quienes me han apoyado incondicionalmente en mi formación profesional y han sido esenciales en mi vida. Gracias a sus consejos, sacrificio y sus hermosas palabras de aliento que me han motivado en todo momento para seguir esta hermosa carrera.

Dedico a mis hermanos que han sido motivación e inspiración, que gracias a las palabras de ánimos nunca me rendí y ahora pude llegar a ser un ejemplo a seguir.

A mi familia que siempre estuvo pendiente de todo el proceso, que me brindó sus palabras de apoyo y consejos, el cual me impulsó a conseguir esta valiosa meta.

AGRADECIMIENTO

Expreso mi agradecimiento a Dios por brindarme sabiduría, inteligencia y salud que es lo más importante en este mundo, por brindarme las mejores oportunidades en este hermoso camino.

Agradezco inmensamente a mis padres y a toda mi familia que siempre me apoyaron en los peores y mejores momentos y que jamás me abandonaron.

A mi tutor de tesis por su paciencia, dedicación y su experiencia, fue alguien que me orientó constantemente en el desarrollo de mi trabajo.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

TEMA	i
APROBACIÓN DEL TUTOR	iii
DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD.....	iv
APROBACIÓN DE LECTORES	v
DEDICATORIA	vi
AGRADECIMIENTO	vii
RESUMEN EJECUTIVO.....	xiii
ABSTRACT.....	xiv
CAPÍTULO I	1
Introducción	1
Marco teórico	7
Energía renovable	7
Tipos de energía renovable.....	8
Sistemas de energía renovables	13
Ventajas de energía renovable	15
Desventajas de energía renovable.....	17
Antecedentes	19
Justificación.....	23
Objetivos	25
Objetivo General.....	25
Objetivos Específicos	25
CAPÍTULO II.....	26
Ingeniería del Proyecto.....	26
Datos específicos de la finca	26
Diagnóstico de la situación actual de la empresa	28
Área de estudio.....	37
Modelo Operativo	38
CAPÍTULO III.....	40
Propuesta y resultados esperados	40
Desarrollo del proyecto	40
Identificación de carga y dispositivos electrónicos.....	40
Análisis de fuentes renovables de energía.....	44
Análisis a través de la utilización de la matriz diseñada por Holmes.....	52
Desarrollo del diseño técnico de un sistema de energía renovables	64

Dimensionamiento de un sistema solar fotovoltaico	64
Rendimiento global de la instalación.....	66
Cantidad de paneles fotovoltaicos necesarios	70
Cálculo de paneles solares en serie.....	71
Cálculo de paneles solares en paralelo	72
Capacidad del banco de baterías.....	75
Número de baterías con conexión en serie y paralelo	76
Corriente de carga y descarga de las baterías	77
Dimensionamiento de conductores.....	78
Dimensionamiento del controlador de carga MPPT.....	80
Paneles Solares Fotovoltaicos	81
Baterías de Almacenamiento	84
Inversores.....	87
Controladores de Carga	92
Sistemas de Monitoreo y Control	95
Esquema técnico del sistema propuesto	96
Componentes y costos.....	97
Resultados esperados.....	100
Implementación y Cronograma.....	101
Simulación del sistema fotovoltaico propuesto.....	105
CAPÍTULO IV CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	110
Conclusiones	110
Recomendaciones.....	111
BIBLIOGRAFÍA	112
ANEXOS	115

ÍNDICE DE TABLAS

<i>Tabla 1</i>	<i>Potencia nominal y efectiva por tipo de fuente -2022</i>	<i>5</i>
<i>Tabla 2</i>	<i>Desafíos metodológicos</i>	<i>7</i>
<i>Tabla 3</i>	<i>Detalles de la finca</i>	<i>26</i>
<i>Tabla 4</i>	<i>Descripción de los problemas identificados en la finca</i>	<i>30</i>
<i>Tabla 5</i>	<i>Área de estudio</i>	<i>37</i>
<i>Tabla 6</i>	<i>Artefactos y equipos de la finca</i>	<i>40</i>
<i>Tabla 7</i>	<i>Características de las energías renovables seleccionadas para el proyecto</i>	<i>48</i>
<i>Tabla 8</i>	<i>Característica de Sistema fotovoltaico</i>	<i>49</i>
<i>Tabla 9</i>	<i>Característica de Sistema Eólico</i>	<i>50</i>
<i>Tabla 10</i>	<i>Característica de Sistema Biomasa</i>	<i>51</i>
<i>Tabla 11</i>	<i>Asignación inicial de importancia a los criterios para evaluación</i>	<i>55</i>
<i>Tabla 12</i>	<i>Evaluación de alternativas por viabilidad técnica</i>	<i>57</i>
<i>Tabla 13</i>	<i>Evaluación de alternativas por situación geográfica</i>	<i>58</i>
<i>Tabla 14</i>	<i>Evaluación de alternativas por costo de implementación (menor)</i>	<i>59</i>
<i>Tabla 15</i>	<i>Evaluación de alternativas por la eficiencia energética</i>	<i>60</i>
<i>Tabla 16</i>	<i>Resultados de alternativas por criterio</i>	<i>61</i>
<i>Tabla 17</i>	<i>Ponderación final de alternativas</i>	<i>63</i>
<i>Tabla 18</i>	<i>Características del panel solar TrinaSolar</i>	<i>82</i>
<i>Tabla 19</i>	<i>Características de la batería de almacenamiento</i>	<i>85</i>
<i>Tabla 20</i>	<i>Características del inversor híbrido</i>	<i>89</i>
<i>Tabla 21</i>	<i>Características del controlador de carga</i>	<i>92</i>
<i>Tabla 22</i>	<i>Características del sistema de monitoreo</i>	<i>95</i>
<i>Tabla 23</i>	<i>Componentes del sistema</i>	<i>97</i>
<i>Tabla 24</i>	<i>Costos por componente</i>	<i>98</i>
<i>Tabla 25</i>	<i>Resumen de Costos</i>	<i>99</i>

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	<i>Consumo energético total por continente</i>	1
Figura 2	<i>Evolución histórica de potencia nominal y efectiva 2013 -2022</i>	4
Figura 3	<i>Demanda máxima (MW) por distribuidora, abril 2024</i>	6
Figura 4	<i>Emisiones de gases de efecto invernadero durante todo el ciclo de vida de una central eléctrica.</i>	17
Figura 5	<i>Ubicación de la finca</i>	21
Figura 6	<i>Ubicación de centrales eléctricas.</i>	21
Figura 7	<i>Concentración de clientes.</i>	22
Figura 8	<i>Plano de las casas que se ubican dentro de la finca para el personal</i>	27
Figura 9	<i>Diagrama de Pareto.</i>	32
Figura 10	<i>Ishikawa sobre el difícil acceso a energía eléctrica</i>	33
Figura 11	<i>Ishikawa sobre la ineficiencia del cercado actual para el ganado</i>	34
Figura 12	<i>Ishikawa sobre las limitaciones actividad ganadera</i>	35
Figura 13	<i>Ishikawa sobre los problemas de hidratación con el ganado</i>	36
Figura 14	<i>Ishikawa sobre la inhabitabilidad de las casas.</i>	37
Figura 15	<i>Modelo operativo</i>	38
Figura 16	<i>Potencia acumulada de los artefactos y equipos</i>	41
Figura 17	<i>Ubicación geográfica de la finca</i>	64
Figura 18	<i>Ubicación geográfica del lugar de estudio en GHI</i>	65
Figura 19	<i>Datos de radiación solar emitida por Global Solar Atlas</i>	65
Figura 20	<i>Irradiación normal directa del lugar</i>	66
Figura 21	<i>Coefficiente de pérdida.</i>	68
Figura 22	<i>Distribución de paneles solares.</i>	73
Figura 23	<i>Panel Monocristalino.</i>	83
Figura 24	<i>Croquis instalación de batería.</i>	86
Figura 25	<i>Croquis instalación del inversor.</i>	91
Figura 26	<i>Croquis instalación del controlador de carga.</i>	94
Figura 27:	<i>Diagrama del sistema propuesto</i>	97
Figura 28	<i>Cronograma.</i>	104
Figura 29	<i>Generación de datos climáticos para nueva ubicación</i>	105
Figura 30	<i>Tipo de instalación, clima y red.</i>	106
Figura 31	<i>Consumo del sistema propuesto</i>	106
Figura 32	<i>Superficie fotovoltaica.</i>	107
Figura 33	<i>Selección del Inversor.</i>	107
Figura 34	<i>Selección del sistema de baterías de almacenamiento.</i>	108
Figura 35	<i>Selección del cableado para el sistema</i>	108
Figura 36	<i>Planos y listado de piezas</i>	109

ÍNDICE DE ANEXOS

<i>Anexo 1. Entrevista al Propietario de la Finca en Illolán, Pichincha.....</i>	<i>115</i>
<i>Anexo 2. Reporte de radiación solar generada por Global Solar Atlas.....</i>	<i>117</i>
<i>Anexo 3. Informe mensual de irradiación solar de PVGIS.....</i>	<i>118</i>
<i>Anexo 4. Fichas técnicas de los paneles solares.....</i>	<i>120</i>
<i>Anexo 5. Ficha técnica de inversor híbrido.....</i>	<i>121</i>
<i>Anexo 6. Ficha técnica de las baterías.....</i>	<i>122</i>
<i>Anexo 7. Ficha técnica de Controlador de Carga MPPT.....</i>	<i>123</i>
<i>Anexo 8. Factor de corrección de temperatura.....</i>	<i>124</i>
<i>Anexo 9. Factor de corrección en base a la cantidad de conductores en tubería.....</i>	<i>124</i>
<i>Anexo 10. Sección de conductores según la corriente permisible.....</i>	<i>124</i>
<i>Anexo 11. Aprobación de abstract departamento de idiomas.....</i>	<i>125</i>

UNIVERSIDAD INDOAMÉRICA
FACULTAD DE INGENIERÍAS
CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

TEMA: DISEÑO DE UN SISTEMA DE ENERGÍA RENOVABLE PARA UNA FINA
UBICADA EN ILLOLÁN, PICHINCHA

AUTOR: Alcasiga Ushiña Widinson Javier

TUTOR: M.Sc. Segura D' Rouville Juan Joel

RESUMEN EJECUTIVO

Este proyecto de grado se desarrolla en una finca de 90 hectáreas situada en el recinto rural de Illolán, en las afueras de la provincia de Pichincha. En dicha finca se llevan a cabo actividades ganaderas, pero estas se encuentran gravemente limitadas por la falta de acceso a energía eléctrica. Como solución a este problema, se propone el diseño de un sistema de energía renovable basado en tecnología fotovoltaica, que permitirá dotar de energía eléctrica a toda la finca, favoreciendo un desarrollo más eficiente y productivo de las operaciones ganaderas. El proyecto emplea diversas metodologías ingenieriles, entre las que destacan la identificación de la carga energética estimada necesaria para la finca, la determinación de la capacidad total requerida para el abastecimiento eléctrico, la evaluación y selección de la fuente de energía renovable más adecuada mediante la Matriz de Criterios de Ponderación de Holmes, y el diseño técnico detallado del sistema de energía renovable. Para identificar los principales problemas que enfrenta la finca, se utilizó un Diagrama de Pareto, el cual permite priorizar los problemas en función de su impacto y frecuencia, bajo el principio de que aproximadamente el 80% de los efectos provienen del 20% de las causas. Este análisis reveló que el problema más crítico es el limitado acceso a la energía eléctrica, debido a la ausencia de una red de distribución cercana, lo que afecta directamente la productividad de la finca. Tras realizar una evaluación exhaustiva de las diferentes fuentes de energía renovable, se concluyó que la opción más adecuada para la finca es un sistema basado en paneles solares fotovoltaicos. Como resultado del análisis técnico, se determinó que la capacidad total requerida para cubrir la demanda energética es de 4610 W, cifra que supera ligeramente el consumo energético estimado, lo que asegura un suministro adecuado de electricidad para todas las operaciones de la finca. Este proyecto no solo plantea una solución eficiente y sostenible, sino que también mejora significativamente la capacidad productiva de las actividades ganaderas.

DESCRIPTORES: energía renovable, paneles solares, sistema fotovoltaico.

UNIVERSIDAD INDOAMÉRICA

FACULTY OF ENGINEERING

Industrial Engineering

AUTHOR: Alcasiga Ushiña Widinson Javier

TUTOR: M.Sc. Segura D´ Rouville Juan Joel

ABSTRACT

**DESIGN OF A RENEWABLE ENERGY SYSTEM FOR A FARM LOCATED IN
ILLOLÁN, PICHINCHA.**

This degree search is being developed on a 90-hectare farm located in the rural area of Illolán, on the outskirts of the province of Pichincha. Cattle ranching activities are carried out on the farm, but these are severely limited by the lack of access to electricity. As a solution to this problem, the design of a renewable energy system based on photovoltaic technology is proposed, which will provide electricity to the entire farm, promoting a more efficient and productive development of livestock operations. The project employs various engineering methodologies, including the identification of the estimated energy load required for the farm, the determination of the total capacity required for electricity supply, the evaluation and selection of the most appropriate renewable energy source using the Holmes Weighting Criteria Matrix, and the detailed technical design of the renewable energy system. To identify the main problems faced by the farm, a Pareto Diagram was used to prioritize the problems according to their impact and frequency, based on the principle that approximately 80% of the effects come from 20% of the causes. This analysis revealed that the most critical problem is the limited access to electricity, due to the absence of a nearby distribution network, which directly affects farm productivity. After carrying out a thorough evaluation of the different renewable energy sources, it was concluded that the most suitable option for the farm is a system based on photovoltaic solar panels. As a result of the technical analysis, it was determined that the total capacity required to cover the energy demand is 4610 W, a figure that slightly exceeds the estimated energy consumption, ensuring an adequate supply of electricity for all farm operations. This project not only provides an efficient and sustainable solution, but also significantly improves the productive capacity of livestock farming activities.

KEYWORDS: photovoltaic system, renewable energy, solar panels.

(*Anexo 11*. Aprobación de abstract departamento de idiomas)

CAPÍTULO I

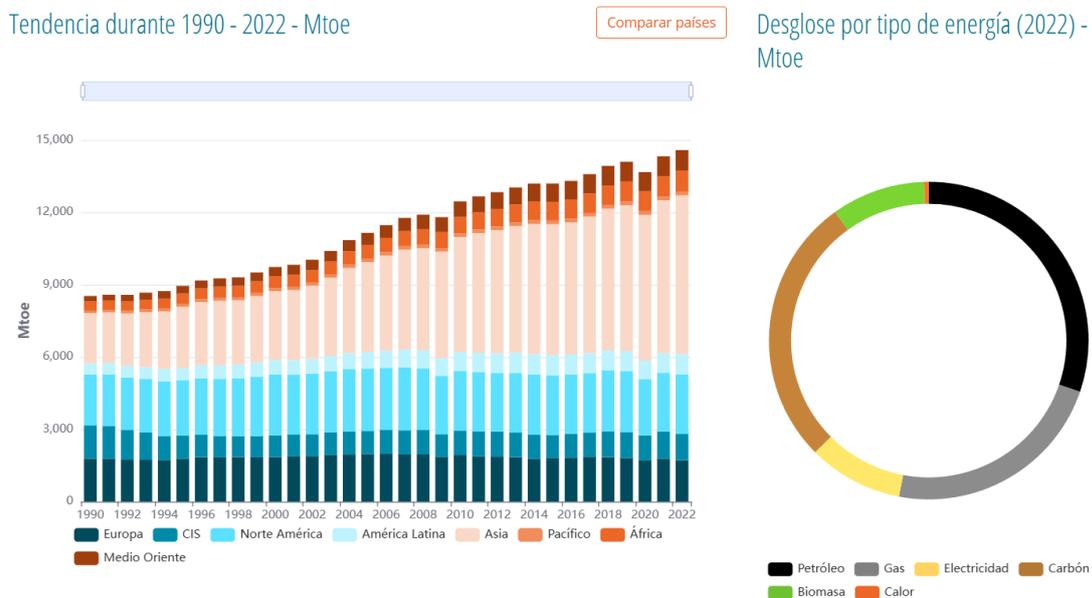
Introducción

Durante los últimos tiempos, como efecto de la gran explotación de combustibles fósiles, el aumento del costo del mismo, la alta demanda de estos combustibles y los problemas que deja en el medio ambiente, se han desarrollado diversas formas de aprovechar los recursos renovables disponibles en el planeta con la finalidad de reducir el consumo masivo de la energía eléctrica tradicional, por tanto, en la última década se ha visto una gran atención en el uso de energías renovables.

Con el 90 % del total de emisiones de dióxido de carbono y superior al 75 % de todas las emisiones de gases de efecto invernadero a nivel global, estos son los combustibles fósiles que agravan el cambio climático del mundo: el petróleo, el gas y el carbón.

Figura 1

Consumo energético total por continente



Nota. Representación del consumo energético de los principales tipos de energía, adaptado de Enerdata, 2024,

Las energías renovables al ser limpias, ilimitadas y aprovechadas en el lugar que se generan, tienen la cualidad de integrarse entre ellas, es decir, la energía fotovoltaica produce electricidad todos los días soleados y despejados, en cuanto a los días fríos, con mucho viento y nublados se emplea los aerogeneradores los cuales transforman más energía eléctrica, de este modo se puede aprovechar los días que estén despejados o nublados.

En el contexto macro, la transición hacia las energías renovables es una ventaja y una decisión global para minimizar el uso de combustibles fósiles y detener el cambio climático que se viene agravando año tras año. A nivel mundial, aproximadamente una séptima parte de la energía primaria proviene de tecnologías renovables. Sin embargo, el progreso en la transición energética ha mostrado solo un “crecimiento marginal” en los últimos tres años, lo que subraya la necesidad de innovación efectiva y rápida en energía renovable para cumplir con los objetivos climáticos.

A nivel meso, Ecuador ha mostrado un compromiso creciente con la energía renovable, con un 21% de su suministro de energía primaria proveniente de fuentes renovables en 2020. A pesar de esto, la participación de las fuentes renovables en el suministro de energía primaria del país fue del 5% en 2021, lo que indica una necesidad de fortalecer las políticas y la infraestructura para la adopción de energías limpias.

La financiación tanto estatal como corporativa juega un papel crucial en el desarrollo de iniciativas de energía renovable en Ecuador. Estas inversiones son esenciales para impulsar la economía del país. Crear trabajos de calidad, fomentar el progreso social, adoptar tecnologías innovadoras y métodos alternativos para producir energía sostenible son tácticas fundamentales para enriquecer y variar los recursos energéticos nacionales.

Siguiendo esta línea de pensamiento, es relevante mencionar que actualmente, el 92% de la producción energética ecuatoriana se origina en centrales hidroeléctricas tradicionales,

dado que el 7% restante se genera en instalaciones térmicas y apenas el 1% del porcentaje total proviene de fuentes alternativas como la energía solar, eólica, biogás, entre otras. Este esquema de generación, caracterizado por su bajo impacto ambiental, no solo cubre las necesidades eléctricas del país, sino que también permite la exportación de energía a naciones limítrofes como Colombia y Perú.

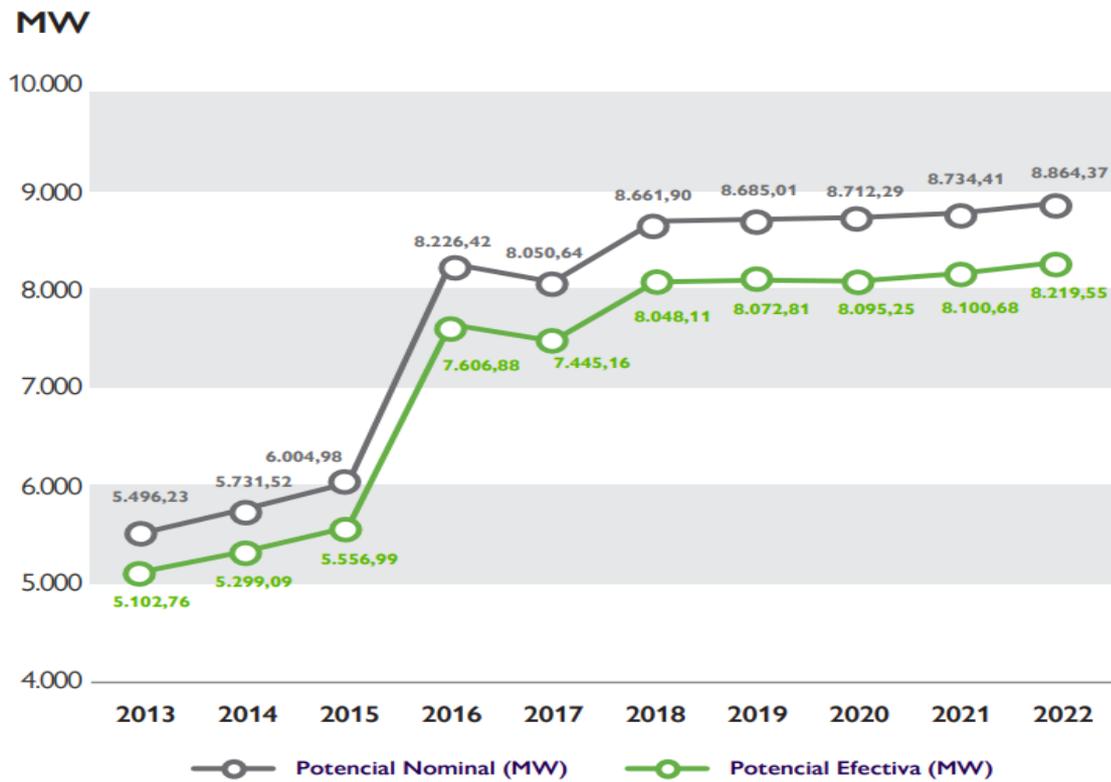
Con el objetivo de afianzar un sistema energético sostenible, el gobierno de Ecuador está implementando estrategias para aumentar la confianza de los inversores en proyectos dentro del país. Esto se logra mediante un entorno legal que garantiza la seguridad jurídica y la transparencia en los procesos gubernamentales. Se promueven las colaboraciones entre el sector público y privado, con normativas claras y simplificadas, además de ofrecer tarifas atractivas y beneficios para el sector privado.

En Ecuador, la capacidad total para la producción de electricidad ha experimentado un crecimiento año tras año, gracias a la aportación de las compañías de generación, autogeneración y distribución con capacidad de generación propia. Dentro de una planta de generación, la potencia nominal es el valor teórico o especificación técnica, en cambio, la potencia efectiva representa la cantidad real de energía que la planta es capaz de suministrar.

La **Figura 2** ilustra el desarrollo de las capacidades mencionadas durante el lapso de 2013 a 2022. Durante este tiempo de estudio, se observó un aumento del 58.77% en la potencia nominal y del 63.56% en la potencia efectiva.

Figura 2

Evolución histórica de potencia nominal y efectiva 2013 -2022



Nota: Adaptado de las estadísticas de CNEL, 2022.

En el año 2022, la **Tabla I** muestra los datos correspondientes a la potencia nominal y efectiva, desglosados por cada tipo de fuente de energía, tanto renovable como no renovable. Este desglose es esencial para comprender cómo cada fuente contribuye al total de la capacidad energética del país y permite evaluar el rendimiento real en comparación con las expectativas de diseño. Además, esta información es clave para planificar futuras expansiones o mejoras en la infraestructura energética, asegurando que se cumplan las metas de sostenibilidad y eficiencia energética.

Tabla 1*Potencia nominal y efectiva por tipo de fuente -2022*

Tipo Fuente	Tipo de Central	Tipo de Unidad	Potencia Nominal (MW)	Potencia Efectiva	
				(MW)	%
Renovable	Hidráulica	Hidráulica	5.191,30	5.151,31	62,67
	Biomasa	Turbovapor	144,30	136,40	1,66
	Fotovoltaica	Fotovoltaica	28,65	27,76	0,34
	Eólica	Eólica	53,15	49,72	0,60
	Biogás	MCI	8,32	7,20	0,09
Total renovable			5.425,72	5.372,40	65,36
No Renovable	Térmica	MCI	2.033,18	1.625,11	19,77
		Turbogás	943,85	790,55	9,62
		Turbovapor	461,63	431,50	5,25
Total no renovable			3.438,65	2.847,16	34,64
Total General			8.864,37	8.219,55	100,00

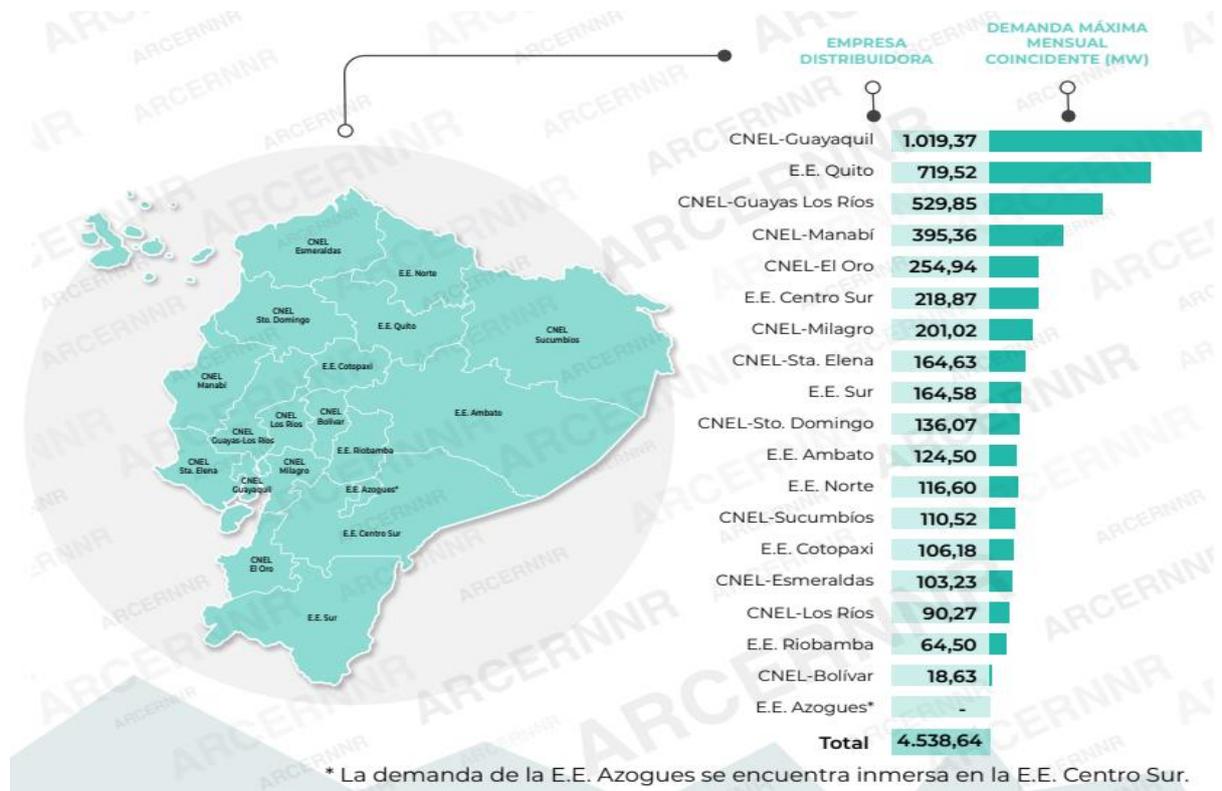
Nota: Adaptado de la información emitida por CNEL, 2022.

La **Figura 3** detalla las demandas máximas individuales correspondientes a abril de 2023, distribuidas por las distintas empresas de suministro eléctrico. El pico más alto de consumo mensual se registró el 27 de abril, alcanzando los 4,538.6 MW. Las compañías que lideraron el consumo en la fecha de mayor demanda del mes fueron las que presentaron un incremento significativo en su actividad, lo cual refleja la dinámica del consumo energético y subraya la importancia de una infraestructura robusta y eficiente para gestionar picos de demanda. Las distribuidoras con mayor consumo del día de máxima demanda del mes abril del 2024 fueron :

1. CNEL EP Guayaquil con 1019,4 MW
2. Empresa Eléctrica Quito con 719,5 MW
3. CNEL EP Guayas – Los Ríos con 529,9 MW

Figura 3

Demanda máxima (MW) por distribuidora, abril 2024



Nota: Adaptado del informe emitido por CNEI, 2024.

En el contexto micro, la provincia de Pichincha, donde se encuentra la finca en Illolán, enfrenta desafíos específicos debido a la falta de acceso a la red eléctrica en áreas rurales. Esta carencia limita las oportunidades de desarrollo económico y mejora de la calidad de vida. La implementación de un sistema de energía renovable en la finca no solo abordaría estas limitaciones locales, sino que también contribuiría a los esfuerzos nacionales y globales para una transición energética sostenible. La finca representa un microcosmos de la problemática energética que enfrentan muchas zonas rurales en Ecuador y en el mundo, haciendo que su caso sea un ejemplo relevante para la investigación y la acción en el ámbito de las energías renovables.

Marco teórico

Energía renovable

La energía derivada de recursos naturales ilimitados que se regeneran continuamente se conoce como energía renovable. Por ejemplo, fuentes como la luz solar y el viento se renuevan continuamente. La humanidad dispone de varias fuentes de energía renovables. En cambio, los combustibles fósiles -carbón, petróleo y gas- son recursos no renovables que se desarrollan a lo largo de cientos de millones de años. El dióxido de carbono, el monóxido de carbono y el dióxido de nitrógeno son algunos de los peligrosos gases de efecto invernadero que se liberan cuando se queman combustibles fósiles para generar electricidad (Arias, 2022, págs. 91-103).

La **Tabla 2** proporciona un resumen conciso pero integral de los principales desafíos y enfoques propuestos en el contexto de las energías alternativas. En primer lugar, destaca la importancia de definir con precisión qué se entiende por energía renovable, subrayando su carácter de fuentes naturales que se reponen a un ritmo superior al consumo humano. Este enfoque se complementa con la necesidad de desarrollar protocolos de sostenibilidad que permitan evaluar y gestionar de manera efectiva el impacto ambiental y socioeconómico de las diferentes formas de energía renovable a lo largo del tiempo (Blanco P. , 2020, págs. 43-71).

Tabla 2

Desafíos metodológicos.

Desafío	Enfoque propuesto
Definición de energía renovable	Energía procedente de fuentes naturales que se reponen a un ritmo más rápido de lo que se consumen, incluidas la hidráulica, la bioenergía, la geotermia, la aerotermia, la solar, la eólica y la oceánica.

Sostenibilidad de las renovables	Desarrollar protocolos de sostenibilidad para diferentes formas de energía renovable a lo largo del tiempo, de modo que se puedan incorporar consideraciones de sostenibilidad a la definición en el mediano plazo.
Energía	
Contabilidad de energía primaria versus final	Realizar un seguimiento de la energía renovable como porcentaje del consumo total de energía final y, como indicador subsidiario, la proporción de energía renovable en la generación de electricidad.
Medición de indicadores adicionales	Realice un seguimiento de indicadores complementarios, como la diversificación del despliegue, la política de energía renovable, el costo de la tecnología y la diversificación.

Nota: Elaborado por Blanco (2020)

Las emisiones derivadas de la quema de combustibles fósiles son muy superiores a las de la producción de energía a partir de fuentes renovables. La transición de los combustibles fósiles, que actualmente representan la mayor parte de las emisiones, a las energías renovables es clave para hacer frente a la crisis climática.

Tipos de energía renovable.

Hidroeléctrica

Aproximadamente el 10% de la electricidad del país se genera mediante energía hidroeléctrica, que es nuestra mayor y más consolidada fuente de energía renovable. La capacidad hidroeléctrica actual ronda los 77.000 megavatios (MW). Las centrales hidroeléctricas producen electricidad utilizando la energía del agua que fluye. El tipo más popular de energía hidroeléctrica retiene un gran embalse de agua embalsando un río. La energía se produce liberando el agua a través de turbinas. Por otro lado, los sistemas «de

pasada» sacan el agua del río y la envían a una turbina a través de una tubería (Bertrand, 2020, págs. 60-79).

Aunque las centrales hidroeléctricas no emiten contaminantes a la atmósfera, pueden afectar a los hábitats de la fauna y a la calidad del agua. Para reproducir el caudal natural del río, varias de ellas desvían parte del agua alrededor de sus presas. Sin embargo, esto reduce la producción de la central, aunque mejore el hábitat animal en el río. También se están utilizando escalas para peces y otras estrategias, como mejores turbinas, para ayudar a los peces a migrar y reducir la cantidad de peces muertos (Silva, 2024, págs. 63-77).

Bioenergía

En el cambio hacia un sistema energético más ecológico y sostenible, la bioenergía es esencial. La bioenergía se está utilizando de formas más sofisticadas, como la creación de biocombustibles y la producción de energía a partir de residuos forestales y agrícolas, además de su uso convencional en la quema de madera para calentarse. Además de reducir la dependencia de los combustibles fósiles, estos avances técnicos permiten gestionar los residuos orgánicos y minimizar las emisiones de gases de efecto invernadero (Blanco, 2021).

La bioenergía también puede jugar un papel importante en la creación de empleo en áreas rurales, ya que fomenta la agricultura sostenible y la gestión forestal responsable, generando nuevas oportunidades económicas y fortaleciendo la resiliencia de las comunidades locales. Además de su impacto ambiental y socioeconómico positivo, la bioenergía también presenta desafíos y consideraciones importantes. La competencia entre el uso de la tierra para la producción de alimentos y biocombustibles plantea cuestiones sobre la seguridad alimentaria y la sostenibilidad ambiental a largo plazo (Orozco, 2021, págs. 21-31).

Es crucial implementar políticas y prácticas que promuevan una bioenergía sostenible, que priorice la utilización de residuos y biomasa no alimentaria, así como la adopción de

prácticas agrícolas y forestales que mejoren la salud de los ecosistemas y la biodiversidad. En este sentido, la investigación y el desarrollo continuos son fundamentales para maximizar el potencial de la bioenergía como una fuente de energía limpia y renovable, al tiempo que se abordan sus impactos y limitaciones (Sosa, 2022, págs. 791-793).

Con más de 7.000 MW de capacidad instalada, la biomasa es la segunda fuente de energía renovable del país, después de la hidroeléctrica. Una forma económica de reducir las emisiones indeseables de las centrales eléctricas de carbón es sustituir parte del carbón por biomasa, según varias empresas de servicios públicos y compañías eléctricas. La biomasa puede sustituir hasta el 15% del carbón. En comparación con el carbón, la biomasa contiene menos azufre (Urbano, 2021).

Como resultado, se libera menos dióxido de azufre en la atmósfera, lo que ayuda a reducir la lluvia ácida. Asimismo, las emisiones de óxido nitroso se reducen al emplear biomasa en estas calderas. Otra técnica para generar electricidad es la gasificación, que transforma la biomasa en gas para su combustión en una turbina de gas. Además, la descomposición de la biomasa en vertederos genera gas, principalmente metano, que puede ser aprovechado en calderas para producir vapor para procesos industriales o para la generación eléctrica (Dumortier, 2023).

Además, la biomasa puede transformarse químicamente en aceite de pirólisis, un tipo de fuel, calentándola sin oxígeno. Además de ser una materia prima para la fabricación de productos químicos y combustibles, el aceite de pirólisis puede utilizarse para generar electricidad. **Biocombustibles** Los biocombustibles son combustibles líquidos que pueden obtenerse directamente de la biomasa. Los biocombustibles se eligen para propulsar vehículos y, ocasionalmente, para la generación de energía estacionaria debido a su alta densidad energética y facilidad de transporte. El etanol, un alcohol producido por fermentación de

biomasa con un alto contenido en carbohidratos, es el biocombustible más utilizado (Muradin, 2020).

Energía geotérmica

A 4.000 millas bajo la superficie, el núcleo de la Tierra puede alcanzar temperaturas de hasta 9000°F. La región circundante se calienta con el calor (energía geotérmica) que irradia el núcleo, creando depósitos subterráneos de vapor y agua caliente. Estos depósitos pueden utilizarse para diversos fines, como la calefacción de viviendas y la producción de energía (Rivera, 2021).

También podemos utilizar la temperatura constante del suelo poco profundo para calentar y enfriar edificios utilizando bombas de calor geotérmicas (GHP). La energía de todos los recursos de petróleo y gas del mundo es 50.000 veces superior al potencial de energía geotérmica que se encuentra en los 10 kilómetros superiores de la corteza terrestre. La mayoría de los yacimientos geotérmicos de Estados Unidos se encuentran en Alaska, Hawai y los estados del oeste. Pero la BPH puede utilizarse prácticamente en cualquier lugar (Arias, 2022).

Energía solar

En el mundo moderno, la energía solar se ha convertido en una de las fuentes de energía más prometedoras y sostenibles. Su potencial radica en su carácter renovable e inagotable, pues el sol emite una cantidad inmensa de energía cada segundo, superando con creces la demanda energética mundial. Además, es un sustituto benigno para el medio ambiente de los combustibles fósiles porque su fabricación no produce emisiones que causen contaminación o contribuyan al calentamiento mundial (Castaño, 2023).

La tecnología solar ha evolucionado significativamente en las últimas décadas, abarcando desde paneles fotovoltaicos para la generación de electricidad hasta sistemas de concentración solar para la producción de calor a gran escala. Esta diversificación de

aplicaciones ha permitido su adopción en distintos sectores, desde el residencial hasta el industrial, impulsando la transición hacia un modelo energético más sostenible y descentralizado. Además de su impacto ambiental positivo, la energía solar también ofrece beneficios económicos y sociales (Espejo, 2020).

Al reducirse el coste de instalación y mantenimiento de los sistemas solares, cada vez más casas y empresas pueden producir su propia energía y reducir su dependencia de la red eléctrica tradicional. Además de promover la independencia y la resistencia en caso de cortes de la red, esta descentralización energética también fomenta el crecimiento del empleo en la industria de las energías renovables (Pereira, 2022).

Asimismo, la energía solar tiene un gran potencial en regiones aisladas o con escasa infraestructura eléctrica, donde puede proporcionar acceso a servicios básicos como la iluminación y el bombeo de agua, mejorando así la calidad de vida y el desarrollo socioeconómico de las comunidades locales. La energía solar no solo representa una solución clave para mitigar el cambio climático, sino también un motor de progreso y equidad a nivel global (Muradin, 2020).

Energía eólica

La energía eólica ha experimentado una transformación significativa en su papel como fuente de energía renovable en la era moderna. Aunque su historia se remonta a cientos de años atrás con el uso de molinos de viento para tareas como moler granos o bombear agua, la tecnología actual de turbinas eólicas ha llevado esta fuente de energía a un nuevo nivel de eficiencia y utilidad. Estas turbinas, diseñadas específicamente para aprovechar el viento y convertirlo en electricidad, son mucho más eficientes y potentes que los molinos de viento tradicionales (Clementi, 2021).

Gracias a avances en diseño, materiales y técnicas de fabricación, las turbinas eólicas

modernas pueden capturar y convertir una cantidad significativa de energía cinética del viento en electricidad de manera eficiente y confiable. La proliferación de parques eólicos en todo el mundo es testimonio del crecimiento y la aceptación de esta tecnología como una fuente de energía limpia y sostenible. Estos parques no solo proporcionan una fuente confiable de electricidad, sino que también generan beneficios económicos y sociales para las comunidades locales, que van desde la creación de empleo hasta el impulso del desarrollo económico en áreas rurales (Torres, 2021).

Además, la energía eólica es esencial para diversificar la red energética, reducir la dependencia de los combustibles fósiles y mitigar el cambio climático reduciendo las emisiones de gases de efecto invernadero. En resumen, la tecnología eólica es un componente clave del cambio del sistema energético mundial hacia uno más sólido y sostenible (Hernández, 2022).

Sistemas de energía renovables

Los sistemas de energía son componentes vitales de la infraestructura global, sirviendo como la columna vertebral que sostiene el funcionamiento de la sociedad moderna. Estos sistemas, altamente interconectados y complejos, se adaptan y evolucionan constantemente para satisfacer las demandas cambiantes de consumo y producción de energía. La diversidad en la escala y la configuración de los sistemas de energía refleja la diversidad de necesidades y condiciones en diferentes áreas geográficas y sectores industriales. Por ejemplo, en áreas urbanas densamente pobladas, la prioridad puede ser la eficiencia y la descentralización para garantizar una distribución equitativa y confiable de energía, mientras que en zonas rurales remotas, la atención puede centrarse en la autosuficiencia y la utilización de recursos locales (Ruiz, 2024).

Tomando en cuenta la ubicación geográfica del Ecuador se puede desarrollar e implementar sistemas de generación de energía renovable, aprovechando al máximo la energía del sol, el cual suele ser la mejor opción en comparación a la generación de energía tradicional, que llega a ser muy contaminante. Los niveles de radiación solar pueden ser aprovechados para el abastecimiento de energía eléctrica limpia, como se explica en el artículo analizado (Topon-Visarrea, 2021)

Además de la variedad en las fuentes primarias de energía, los sistemas energéticos también enfrentan desafíos en la gestión de la demanda y la integración de tecnologías emergentes. La introducción de energías renovables intermitentes, como la solar y la eólica, ha generado la necesidad de desarrollar soluciones innovadoras para almacenar y distribuir la energía de manera eficiente, garantizando al mismo tiempo la estabilidad y la seguridad del suministro. La digitalización y la automatización también están transformando la forma en que se gestionan y operan los sistemas de energía, permitiendo una supervisión y control más precisos, así como la optimización en tiempo real de la producción y el consumo (Orozco, 2021).

Los sistemas energéticos están cambiando hacia fuentes más limpias y renovables ante la acuciante necesidad de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y hacer frente al cambio climático. Esta transición requiere una planificación cuidadosa y una colaboración entre gobiernos, industrias y comunidades para superar barreras técnicas, económicas y políticas (Impram, 2020).

Para garantizar que las ventajas y desventajas del cambio hacia una energía más sostenible se reparten equitativamente entre todas las facetas de la sociedad, es imperativo abordar al mismo tiempo las cuestiones de equidad y justicia social. En conclusión, los sistemas energéticos son componentes esenciales en la búsqueda de un futuro más justo y

sostenible, y la resolución de los problemas energéticos del siglo XXI depende de su diseño y funcionamiento eficientes. (Mahzarnia, 2020).

Ventajas de energía renovable

Para hacer frente a las fluctuaciones de la oferta y la demanda, los sistemas energéticos deben tener en cuenta el almacenamiento de energía, además de la generación y la distribución. Para garantizar el acceso a la energía cuando se necesita, puede ser necesario utilizar baterías, sistemas de almacenamiento hidroeléctrico, tecnologías de almacenamiento térmico y otras técnicas. Por último, los sistemas de energía también abarcan la infraestructura y tecnologías necesarias para el consumo final de la energía, como edificios eficientes, vehículos eléctricos, sistemas de calefacción y refrigeración, y dispositivos electrónicos (Maradin, 2021).

Junto con el creciente interés en la disponibilidad y disponibilidad de recursos energéticos fósiles y el crecimiento exponencial de la demanda de energía en las últimas décadas, las fuentes de energía renovables se están convirtiendo en un recurso energético adicional importante para satisfacer las necesidades, especialmente de electricidad. La utilización de recursos energéticos naturales e ilimitados del medio ambiente con el objetivo de convertirlos en electricidad, garantizando al mismo tiempo el aspecto medioambiental, ofrece a las fuentes de energía renovables numerosas ventajas en su uso, principalmente la protección del medio ambiente (Mbungu, 2020).

El hecho de que las fuentes de energía renovables contribuyan en un porcentaje nulo o casi nulo a las emisiones de gases de efecto invernadero y otras formas de contaminación atmosférica lo pone especialmente de manifiesto. Toda la vida útil de una central eléctrica puede utilizarse para desarrollar una indicación completa de la contaminación ambiental creada por ese tipo de central en la actividad de producción de electricidad. Es lógico que la

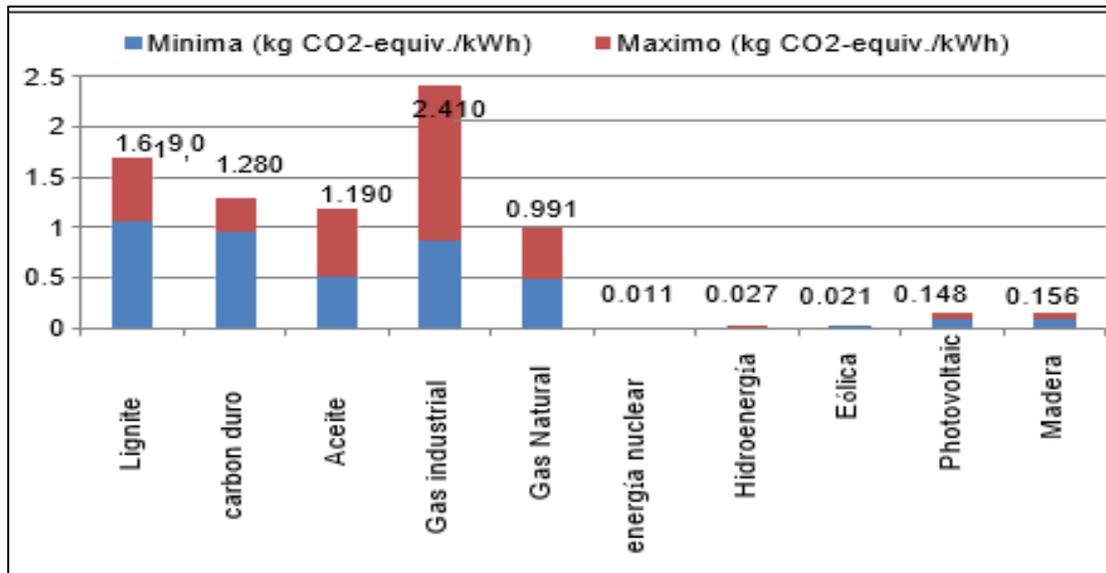
evaluación del ciclo de vida de varios tipos de centrales eléctricas revele que las centrales térmicas que generan energía utilizando combustibles fósiles son las que tienen mayores niveles de emisiones de gases de efecto invernadero (Muradin, 2020).

El uso de la energía nuclear no da lugar a la producción de gases de efecto invernadero, un subproducto de la generación de energía. Uno de los motivos para considerar la energía nuclear en el contexto de las «renovables» es que se diferencia de los combustibles fósiles. Pero en este caso, los residuos nucleares radiactivos se pasan por alto a pesar de sus importantes efectos negativos sobre el medio ambiente y la salud humana. La producción de gases de efecto invernadero, medida en dióxido de carbono equivalente (CO₂), es muy baja o insignificante si se respeta todo el ciclo de vida de una central alimentada por una fuente de energía renovable (Siksnelyte, 2020).

En la **Figura 4** se muestra la gama de emisiones de gases de efecto invernadero durante el ciclo de vida de varios tipos de centrales eléctricas (medidas en kilos de dióxido de carbono [CO₂] equivalente por kilovatio-hora [kWh]). Los bajos niveles de emisiones de gases de efecto invernadero de las centrales que emplean fuentes de energía renovables tradicionales, como la eólica o la hidroeléctrica, dan fe de su aceptabilidad medioambiental (Mbungu, 2020).

Figura 4

Emisiones de gases de efecto invernadero durante todo el ciclo de vida de una central eléctrica.



Nota: Elaborado por (Mbungu, 2020)

Desventajas de energía renovable

Además de las múltiples ventajas que supone el uso de fuentes de energía renovables, existen ciertas desventajas y limitaciones en su uso diario. Principalmente debido a sus características naturales, las fuentes renovables dependen completamente de la ubicación geográfica y las condiciones climáticas; es decir, la volatilidad e imprevisibilidad de la fuente renovable es una limitación y dificultad significativas en la generación de electricidad (Halkos, 2020).

Esta limitación puede aliviarse mediante una planificación de calidad y una cuidadosa selección del sitio para una fuente de energía renovable en particular, así como mediante la realización de mediciones y estudios ambientales. Además, debido a las grandes oscilaciones diarias en la disponibilidad de una fuente renovable a partir de la cual se genera la electricidad,

es necesario considerar las posibilidades de aceptar electricidad renovable en el sistema eléctrico (Jia, 2023).

Siempre debe existir una reserva suficiente en la red del sistema eléctrico en forma de potencia instalada disponible de la central eléctrica que pueda eliminar la deficiencia que se produce cuando una determinada fuente de energía renovable no está disponible. Además, la red eléctrica de un determinado lugar sólo puede recibir una determinada cantidad de electricidad sin riesgo de sobrecarga y alterar la estabilidad del sistema eléctrico (Marks, 2020).

Se señala que las mayores dificultades para aceptar electricidad en la red las plantean las empresas eólicas, principalmente debido a la capacidad instalada relativamente alta de los parques eólicos, por lo que su potencia debe limitarse en cada sistema eléctrico para garantizar un funcionamiento estable y seguro de todo el sector eléctrico. Al comparar las fuentes de energía renovables con los recursos energéticos fósiles tradicionales; Las fuentes renovables tienen falta de capacidad para producir electricidad, no son capaces de producir cantidades tan grandes de electricidad como las centrales eléctricas con combustibles fósiles.

Para intentar reducir esta deficiencia, es necesario invertir más en el desarrollo de tecnologías de energía renovable, pero también simplemente construir más plantas de energía renovable. Además de esto, las fuentes de energía renovables también tienen una relación más baja entre la potencia instalada de la planta (en MW) o la producción de electricidad (en GWh) y el área de la ubicación (en m²) ocupada por la planta de energía, en comparación con las plantas de energía de combustibles fósiles (Moriarty, 2021).

Esto significa que las plantas de energía renovable deberían tener una superficie mucho mayor que las centrales térmicas para producir la misma cantidad de electricidad. Además de la superficie necesaria, las fuentes de energía renovables también consiguen una

eficiencia energética relativamente menor, con excepción de los recursos hídricos y los parques eólicos. La eficiencia en la generación de electricidad se puede definir como la relación entre la producción de electricidad utilizable generada en una entidad generadora en una unidad de tiempo determinada y el valor energético de los recursos energéticos entregados a la entidad generadora al mismo tiempo (Bertrand, 2020).

Antecedentes

La finca se encuentra situada en un recinto rural en Illolán, en las afueras de la provincia de Pichincha, en un área que bordea la vía Alóag-Santo Domingo. Con una extensión de 90 hectáreas de terreno, la finca se dedica principalmente a actividades ganaderas. Sin embargo, estas operaciones se ven severamente limitadas por la falta de acceso al servicio de energía eléctrica.

Esta carencia de suministro eléctrico impacta significativamente en la productividad y el desarrollo de la finca. La ausencia de una red eléctrica cercana dificulta enormemente la posibilidad de conectar y aprovechar al máximo los recursos disponibles. Como resultado, la finca no está alcanzando su potencial máximo de producción y rendimiento.

La situación se agrava aún más por la presencia de dos casas pequeñas de campo en la propiedad. Estas viviendas carecen de suministro eléctrico, lo que limita drásticamente su capacidad de ocupación y uso. Esta falta de comodidades básicas no solo afecta la calidad de vida de quienes trabajan en la finca, sino que también representa un obstáculo para el desarrollo adecuado de las operaciones.

Además, el uso de cercas de alambre de púas como método de contención para el ganado presenta problemas significativos. Estas cercas tradicionales son propensas a sufrir daños ocasionados por el ganado mismo, ya sea por accidentes o por su propia actividad. Cuando estas cercas resultan gravemente dañadas, el ganado puede escaparse, lo que conlleva la pérdida

económica tanto en términos de animales extraviados como de daños a los cultivos circundantes y a la propiedad misma, por lo que se ha planteado como solución la instalación de cercas eléctricas pero debido a la falta de energía eléctrica es imposible, por lo que un sistema de energía renovable, podría solucionar diversos problemas en la finca.

En particular, la ausencia de acceso a servicios eléctricos es un obstáculo significativo para el funcionamiento efectivo de la finca y para mejorar las condiciones de vida de quienes la habitan y trabajan en ella. Sin electricidad, las actividades diarias básicas se vuelven mucho más difíciles y menos eficientes. La iluminación es escasa, lo que limita las horas de trabajo y las oportunidades de estudio y recreación durante la noche. La refrigeración de alimentos y medicinas es prácticamente imposible, lo que aumenta el riesgo de enfermedades y pérdidas económicas. Además, la falta de energía eléctrica dificulta el uso de herramientas y maquinaria modernas en las labores agrícolas y ganaderas, lo que reduce la productividad y la eficiencia general de las operaciones en la finca.

La implementación de un sistema de energía renovable se convierte en una solución vital y revolucionaria a la luz del artículo 413 de la Constitución de la República del Ecuador, que ordena que el Estado fomente la eficiencia energética, el desarrollo y uso de prácticas y tecnologías ambientalmente seguras y saludables, así como las energías renovables, diversificadas y de bajo impacto. No solo permitirá superar la limitación energética actual, sino que también abrirá nuevas oportunidades para el crecimiento y la diversificación de las actividades en la finca. Además, al mejorar la infraestructura y la calidad de vida en la propiedad, se contribuirá al desarrollo sostenible y al empoderamiento de la comunidad local.

Figura 5

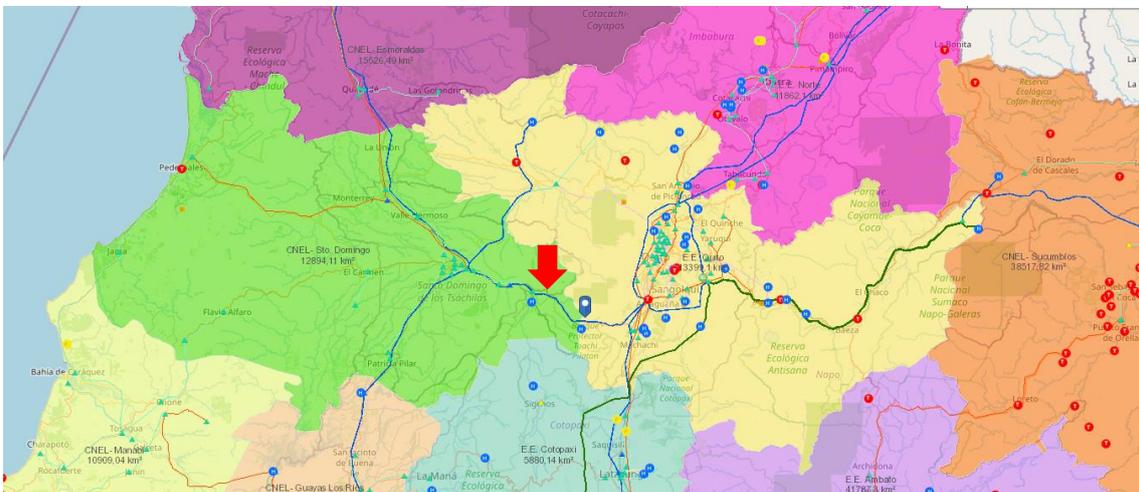
Ubicación de la finca



Nota: Ubicación geográfica de la finca extraído de mapas, 2024.

Figura 6

Ubicación de centrales eléctricas.



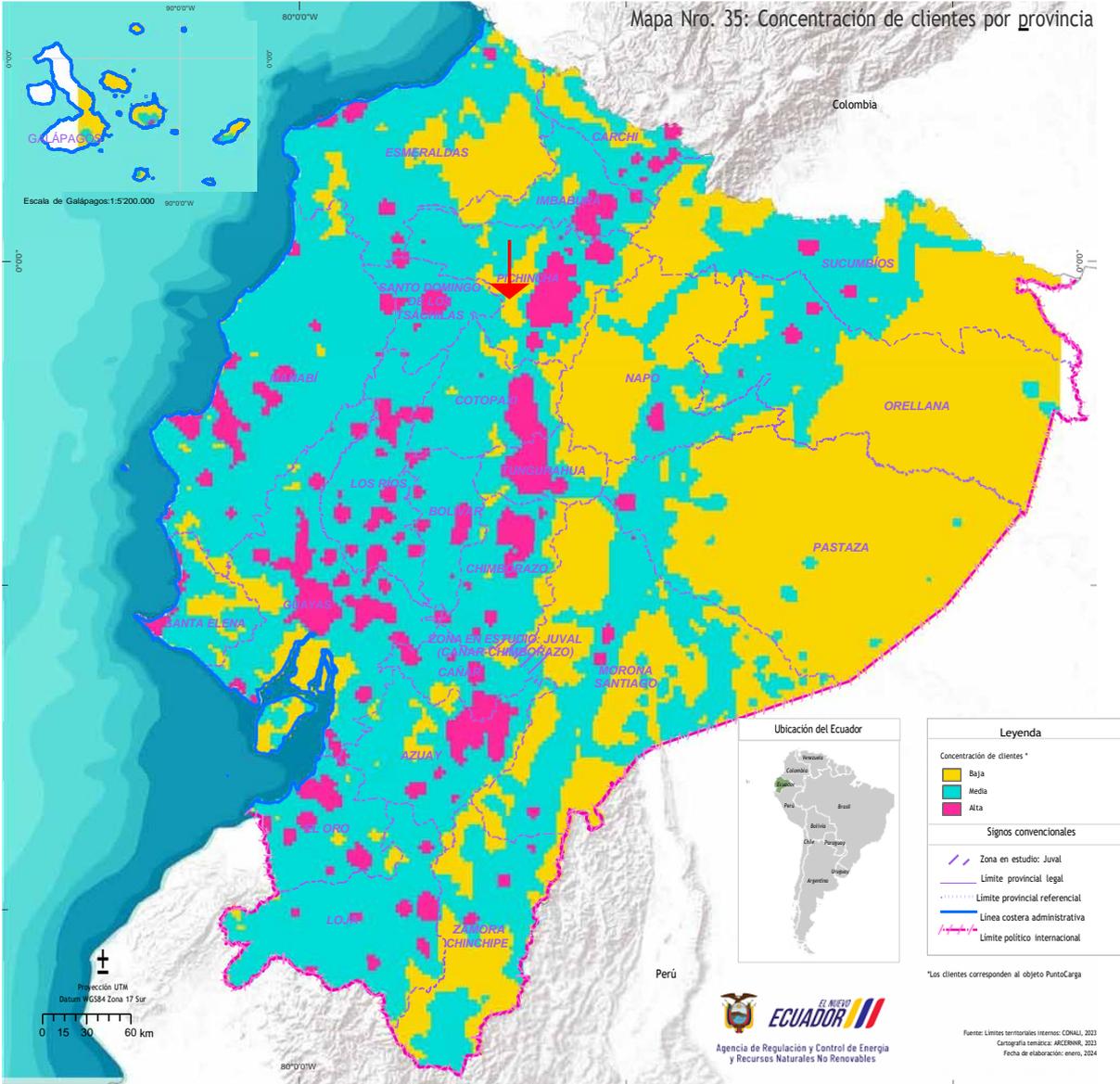
Nota: Ubicación geográfica de centrales eléctricas cercanas extraído de mapas, 2024.

En la **Figura 6**, se puede observar claramente la ubicación geográfica de la finca en Illolán, Pichincha. La finca en cuestión está marcada y situada en un área específica de esta región. Asimismo, se identifican las estaciones eléctricas existentes, las cuales se encuentran a considerable distancia de la finca objeto de estudio. Esta dispersión de las estaciones eléctricas

representa un problema para el suministro eficiente de energía a la finca. La lejanía de estas estaciones implica potenciales dificultades logísticas y costos elevados en la implementación de infraestructura eléctrica adecuada para satisfacer las necesidades energéticas de la finca.

Figura 7

Concentración de clientes.



Nota: Concentración de clientes extraído de mapas, 2024.

En la **Figura 7**, se evidencia una coloración amarilla que indica una baja concentración de clientes en la región. Específicamente, se señala con una flecha roja la finca objeto de estudio, la cual también se muestra en color amarillo. Esta representación visual corrobora la

información de la imagen anterior, donde se destaca la considerable distancia entre la finca en Illolán, Pichincha, y las estaciones eléctricas más cercanas. La baja densidad de clientes en esta área está directamente relacionada con la lejanía de las infraestructuras eléctricas, lo que sugiere posibles desafíos tanto en la eficiencia del suministro eléctrico como en los costos asociados con la expansión de la red eléctrica para cubrir las necesidades energéticas de la finca.

Justificación

En la construcción de un sistema de energía renovable en la granja Illolán se tienen en cuenta tres estrategias: reducir las emisiones de carbono y fomentar hábitos sostenibles mediante el uso de energía renovable. Se prevé reducir los gastos a largo plazo y aumentar la producción de la granja. Socialmente, el objetivo es elevar el nivel de vida de los residentes proporcionándoles acceso a la energía. Además de revolucionar el funcionamiento de la finca, esta iniciativa servirá de ejemplo para el crecimiento sostenible de la zona.

El trabajo de diseñar un sistema de energía renovable para la finca ubicada en Illolán, Pichincha, se considera **importante** debido a la situación actual de la propiedad. La falta de acceso a servicios eléctricos limita significativamente las actividades agrícolas y ganaderas, así como la calidad de vida de quienes habitan y trabajan en la finca. Por lo tanto, abordar esta necesidad es esencial para mejorar la productividad, la seguridad y el bienestar en la finca.

El **impacto** del sistema de energía renovable será múltiple y significativo. A nivel empresarial, permitirá aumentar la eficiencia y la rentabilidad de las operaciones agrícolas y ganaderas al reducir los costos asociados con el uso de generadores de combustible fósil y al aumentar la disponibilidad de energía para utilizar herramientas y maquinaria modernas. A nivel laboral, mejorará las condiciones de trabajo y aumentará la capacidad de empleo al facilitar el desarrollo de nuevas actividades y proyectos en la finca. A nivel científico, contribuirá al avance en el estudio y la aplicación de tecnologías de energía renovable en entornos rurales.

Se considera de **utilidad**, ya que tanto los propietarios de la finca como la comunidad en general se beneficiarán de esta obra creada. Aumentar la eficacia y rentabilidad de sus actividades, así como la calidad de vida en la granja, beneficiaría directamente a los propietarios. Al fomentar el aumento a nivel de sostenibilidad, mejorar la comodidad y condiciones de vida en la zona, la comunidad local saldrá ganando indirectamente.

Los **beneficiarios** directos del trabajo serán los propietarios de la finca, quienes verán mejoras significativas en la productividad y rentabilidad de sus operaciones, así como en la calidad de vida de quienes habitan y trabajan en la finca. Además, los empleados y trabajadores de la finca se beneficiarán al tener acceso a mejores condiciones de trabajo y a oportunidades de desarrollo personal y profesional. La mejora de las condiciones de vida en la zona y el fomento del desarrollo sostenible también ayudarán a la población local

Gracias a los avances tecnológicos en energías renovables y a la disponibilidad de recursos naturales locales como el viento y la radiación solar, el desarrollo del sistema de energías renovables es técnica y científicamente **factible**. Además, existen precedentes exitosos de implementación de sistemas similares en entornos rurales similares, lo que respalda la viabilidad del proyecto. Por lo tanto, el estudio cuenta con una base sólida y factible para su desarrollo y aplicación en la finca de Illolán.

Objetivos

Objetivo General

Diseñar un sistema de energía renovable utilizando herramientas de ingeniería industrial para el mejoramiento de las actividades de la finca ubicada en Illolán, Pichincha.

Objetivos Específicos

- Realizar la identificación de la carga eléctrica en la finca mediante la determinación de los parámetros nominales determinando la capacidad total requerida por una fuente de alimentación renovable.
- Evaluar las principales fuentes alternativas de energía renovable disponibles, aplicando la matriz de priorización de Holmes, seleccionando la fuente de energía renovable más adecuada.
- Proponer un sistema de abastecimiento eléctrico renovable, mediante un diseño técnico detallado basado en la fuente renovable seleccionada, cubriendo las necesidades técnicas del servicio.

CAPÍTULO II

Ingeniería del Proyecto

Datos específicos de la finca

A continuación, la **Tabla 3** presenta los datos específicos de la finca objeto de estudio donde se va a diseñar un sistema de energía renovable, entre los datos presentados se tiene, la extensión de la finca, los tipos de trabajo, la cantidad de ganado y el total de casas disponibles. Esta información se presenta con la finalidad de tener mayor contexto sobre la situación a enfrentar y disponer de datos necesarios en términos de capacidad energética al momento de diseñar el sistema de energía.

Tabla 3

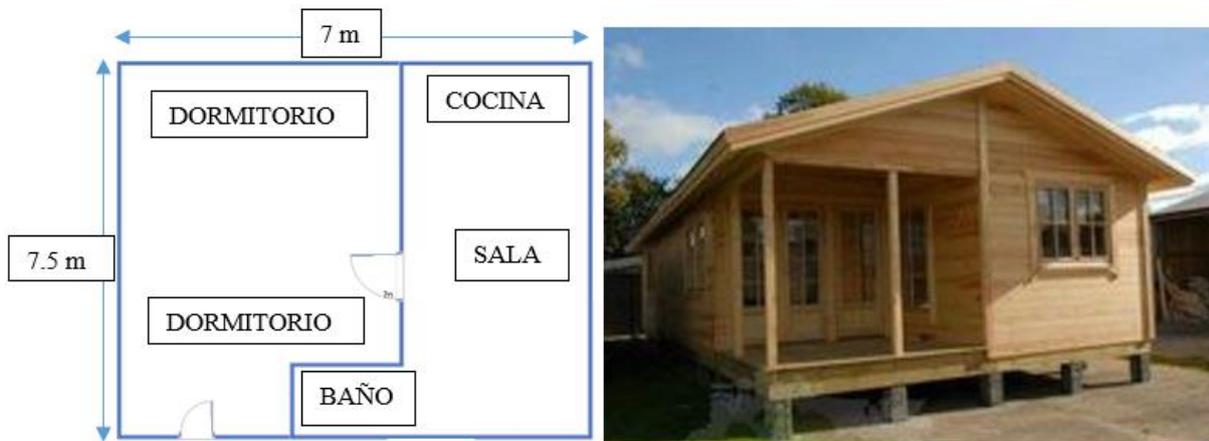
Detalles de la finca

Descripción	Total
Extensión De Finca	90 hectáreas
Cabezas De Ganado	100 cabezas
Casas Pequeñas De Campo	2 casas
Cabezas Muertas	2 por Mes
Costos De Transporte	\$20 Diarios
Ordeño Mecánico	No Dispone
Bomba De Agua	No Dispone
Ordeño	Manual

Nota. Elaboración propia.

Figura 8

Plano de las casas que se ubican dentro de la finca para el personal



Nota: Dimensiones de las casas de campo, Elaboración propia.

De la entrevista con el propietario de la finca, se destacan varios hallazgos importantes que informan el diseño del sistema de energía renovable. La principal limitación operativa es la ausencia de electricidad debido a la ubicación remota de la finca. Esto afecta directamente la productividad y la capacidad de realizar diversas actividades esenciales, como el ordeño y el mantenimiento de las viviendas.

La finca enfrenta desafíos significativos con las cercas perimetrales, ya que el alambre de púas no es efectivo para contener el ganado, lo que resulta en pérdidas económicas debido a la fuga y muerte del ganado. Además, la geografía de la finca, con una quebrada que bordea el terreno, presenta un riesgo constante para el ganado. Aproximadamente dos cabezas de ganado mueren cada mes debido a caídas mientras buscan agua en el río, resaltando la necesidad de mejorar la accesibilidad y la seguridad.

La falta de electricidad afecta negativamente las condiciones de vida en la finca, obligando al propietario y a los trabajadores a trasladarse diariamente, lo que genera costos operativos adicionales y reduce la eficiencia general. Estos hallazgos subrayan la necesidad

crítica de implementar un sistema de energía renovable que no solo mejore la productividad y la seguridad, sino que también eleve la calidad de vida en la finca.

Diagnóstico de la situación actual de la empresa

En el transcurso de los estudios de campo preliminares, ejecutados con el apoyo y la guía del personal de la finca y bajo el consentimiento explícito de los propietarios, se han detectado múltiples desafíos asociados con la condición presente y los requerimientos específicos para el establecimiento de una infraestructura energética.

En el sector de Illolan, vía Alóag-Santo Domingo, existe una finca de 90 hectáreas de terreno. Sin embargo, enfrenta un importante problema: la falta de energía eléctrica para llevar a cabo sus actividades. Actualmente, las operaciones en la finca se realizan de forma manual, lo que dificulta el control adecuado de las 100 cabezas de ganado que se encuentran allí. Además, las cercas que rodean la finca no son suficientes para garantizar la seguridad y el manejo eficiente del ganado. Además, hay dos casas de campo en la finca, pero tampoco cuentan con suministro eléctrico, lo que limita su habitabilidad para las personas. Dentro de estos desafíos identificados, se resaltan los siguientes aspectos críticos:

1. La finca carece de suministro eléctrico debido a su ubicación remota, alejada de la ciudad, y la ausencia de una red eléctrica cercana.
2. Las cercas perimetrales de la finca están construidas con alambre de púas, pero el ganado no respeta estas barreras y cruza hacia las fincas vecinas. Como resultado, se han producido pérdidas económicas debido a la pérdida o muerte de ganado. La falta de control adecuado sobre el ganado representa un desafío significativo en términos de seguridad y gestión en la finca.
3. Cada mes, aproximadamente dos cabezas de ganado mueren debido a que suelen caerse en la quebrada que bordea la finca. Esta situación representa una pérdida significativa tanto en términos económicos como de seguridad para la finca.

4. El proceso de ordeño en la finca se lleva a cabo de manera manual, lo que resulta en demoras significativas. Para mejorar la eficiencia, es necesario adquirir un ordeño mecánico que esté conectado al sistema. Esto permitirá agilizar el proceso y garantizar una mayor productividad en la finca.
5. La mortalidad del ganado se ve incrementada debido a la necesidad de descender a un río para hidratarse, sumado a la irregularidad del terreno, lo que provoca caídas frecuentes con resultados fatales. Esta problemática subraya la urgencia de implementar soluciones que mejoren la accesibilidad y seguridad en la hidratación del ganado.
6. Debido a que existen dos casas de campo, pero no tienen energía eléctrica se hace inhabitable, por lo que otro problema es el gasto que representa ir todos los días a la finca, el cual representa un gasto de aproximadamente \$20 diarios.

La instalación de energía eléctrica en la finca es esencial para superar los múltiples desafíos mencionados y mejorar significativamente la operatividad y calidad de vida en la finca. Actualmente, la finca produce 400 litros de leche diarios de 40 vacas, lo que genera un ingreso de \$160 diarios, \$2,400 quincenales y \$4,800 mensuales, considerando un precio de 0.40 centavos por litro. Sin embargo, la falta de electricidad limita esta producción y genera costos adicionales, entre los cuales se incluyen el costo por transporte diario y las pérdidas por muerte de ganado. El gasto en transporte asciende a \$20 diarios, \$140 semanales y \$600 mensuales. En cuanto a las pérdidas de ganado, el costo aproximado es de \$1,600 mensuales, considerando que cada cabeza de ganado tiene un valor promedio de \$800 y que, mensualmente, se pierden o mueren dos cabezas. Por lo tanto, el costo total sería de \$2,200 mensuales.

Con la implementación de un sistema de energía renovable, se espera un incremento considerable en la productividad. La mecanización del ordeño, por ejemplo, permitirá un proceso más rápido y eficiente, reduciendo las demoras y aumentando la producción diaria de

leche. Además, la energía eléctrica permitirá el uso de bombas de agua para garantizar un acceso seguro y constante al agua, reduciendo la mortalidad del ganado por caídas en la quebrada.

La electrificación de las casas de campo mejorará las condiciones de vida de los trabajadores, eliminando la necesidad de desplazamientos diarios costosos y aumentando la disponibilidad del personal en la finca. La mejora en la seguridad con sistemas de cercas electrificadas también evitará la pérdida de ganado, asegurando un control más eficiente del mismo.

Diagrama de Pareto

Con los datos proporcionados por parte del propietario y trabajadores de la finca se pudo desarrollar la siguiente tabla, con la finalidad de presentar los problemas más comunes dentro de la finca y el número de ocurrencias en cada mes.

Tabla 4

Descripción de los problemas identificados en la finca.

Problema	Cantidad de ocurrencias por mes	Descripción del problema
Ineficiencia del cercado actual para el ganado	21	El cercado de alambre de púas lastima al ganado y no es suficiente para mantenerlo en un solo lugar.
Limitaciones actividad ganadera	20	Por la inexistencia de energía eléctrica no se puede instalar un ordeño mecánico, ni un sistema de riego.
Problemas de hidratación con el ganado	19	La ausencia de un lugar cercano para la hidratación del ganado y la irregularidad

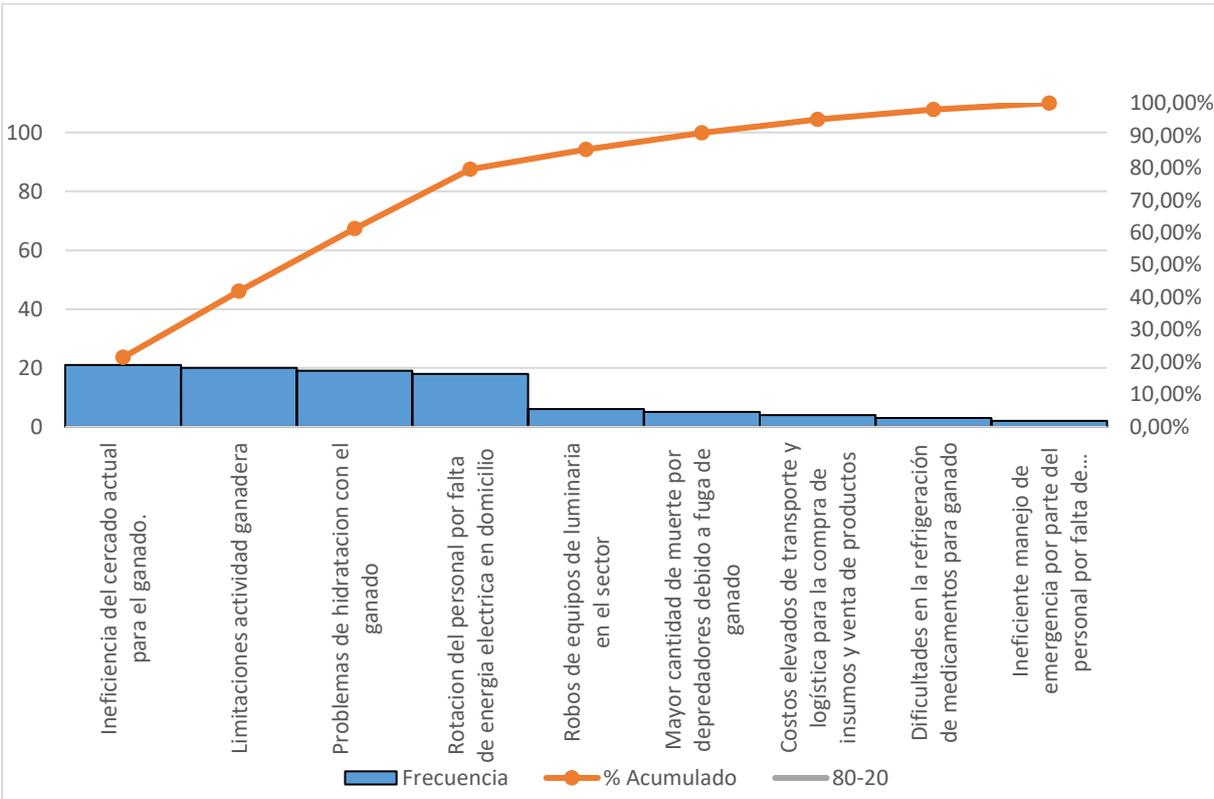
		del terreno, hace que, al momento de buscar agua, el ganado se caiga o se fracturen
Rotación del personal por falta de energía eléctrica en domicilio	18	Existen dos casas de campo, pero están inhabitables debido a que no existe iluminación.
Robos de equipos de luminaria en el sector	6	Un alto índice de robos y siniestros en el lugar
Mayor cantidad de muerte por depredadores debido a fuga del ganado	5	Pérdidas de ganado por motivo de escape fuera de la finca.
Costos elevados de transporte y logística para la compra de insumos y venta de productos	4	Para la alimentación del ganado, es un costo adicional por transporte, debido a la lejanía
Dificultades de la refrigeración de medicamento para ganado	3	No se puede conservar los medicamentos necesarios para el ganado
Ineficiente manejo de emergencia por parte del personal por falta de comunicación y energía eléctrica	2	Al encontrarse en un lugar alejado de la ciudad, es difícil la comunicación en cualquier emergencia.

Nota. Elaborado con a la información emitida por el propietario, Elaboración propia.

Los problemas más acuciantes que se determinaron en la finca se clasificaron mediante un análisis de diagrama de Pareto. Fue posible identificar y clasificar los problemas en función de su frecuencia e impacto gracias al diagrama de Pareto, que se basa en la idea de que aproximadamente el 80% de las consecuencias se derivan del 20% de las causas. Este enfoque nos ayudó a determinar cuáles son los problemas más críticos que requieren atención inmediata

y cuáles pueden ser abordados en una fase posterior. La priorización obtenida a través del diagrama de Pareto proporciona una guía clara y estructurada para la toma de decisiones y la implementación de soluciones efectivas, asegurando que los recursos se asignen de manera óptima para resolver los problemas más significativos y mejorar la operatividad y eficiencia de la finca.

Figura 9
Diagrama de Pareto.



Nota: El diagrama muestra la frecuencia de los principales problemas identificados en la finca, basados en los datos y en la entrevista realizada a los propietarios y trabajadores. La información se deriva de la **Tabla 4**, Elaboración propia.

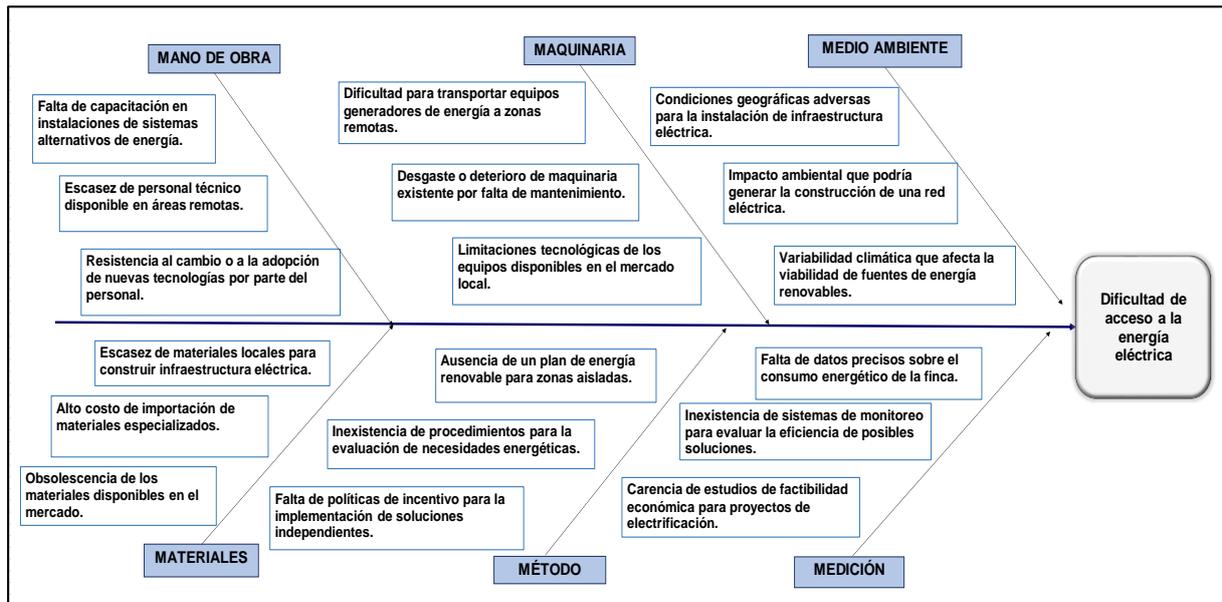
Dificultad de acceso a la energía eléctrica

La ubicación remota de la finca en Illolán representa un desafío significativo para acceder a la energía eléctrica. Según la Ley Orgánica del Servicio Público de Energía Eléctrica de Ecuador, se busca garantizar el servicio eléctrico a nivel nacional. Sin embargo, las áreas de

difícil acceso pueden enfrentar demoras o limitaciones en la provisión de este servicio esencial. Esto resulta en una falta de suministro eléctrico constante, afectando no solo la vida cotidiana sino también la posibilidad de implementar tecnologías que dependen de la electricidad.

Figura 10

Ishikawa sobre el difícil acceso a energía eléctrica



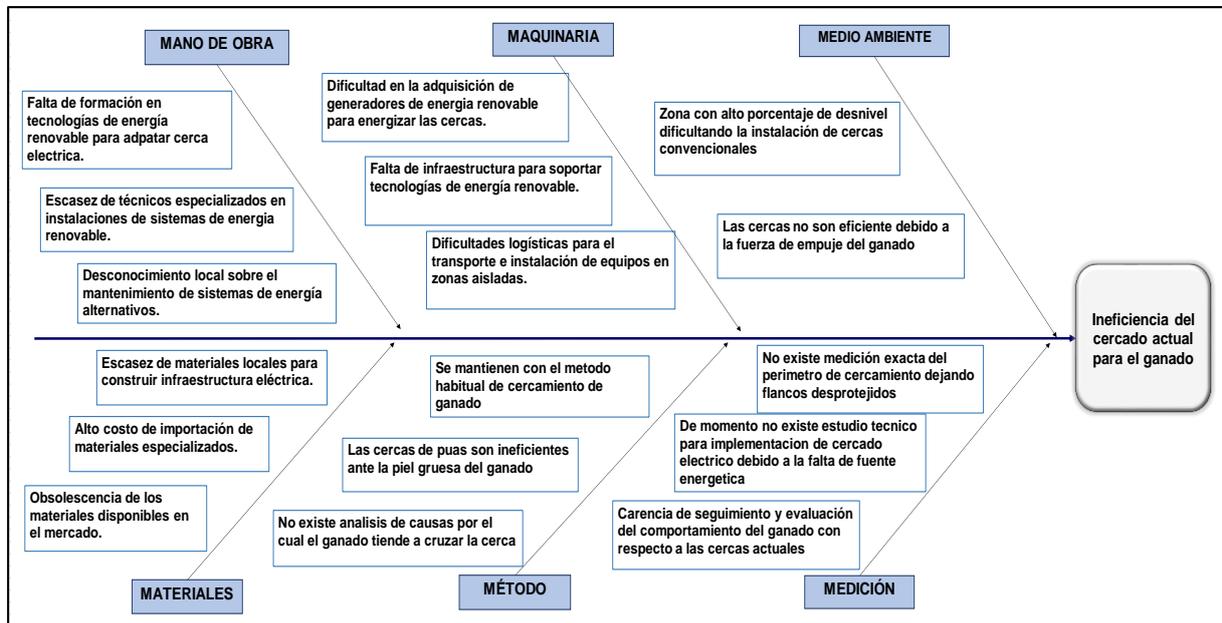
Nota: Se analiza el principal problema, Elaboración propia

Problemas con cercas de alambres de púas y muerte del ganado por caídas

El uso de cercas de alambres de púas como método de contención para el ganado presenta riesgos significativos, incluyendo lesiones en los animales y daños en sus pieles, e incluso muerte lo que puede afectar su valor comercial. Además, estas cercas requieren mantenimiento constante y no son efectivas para prevenir la fuga del ganado. Se ha considerado la instalación de cercas eléctricas como una solución más segura y eficiente, pero la falta de energía eléctrica en la finca hace que esta opción sea inviable actualmente.

Figura 11

Ishikawa sobre la ineficiencia del cercado actual para el ganado



Nota: Se determinan las causas de la Ineficiencia del cercado para el ganado, Elaboración propia.

Limitaciones en actividades ganaderas

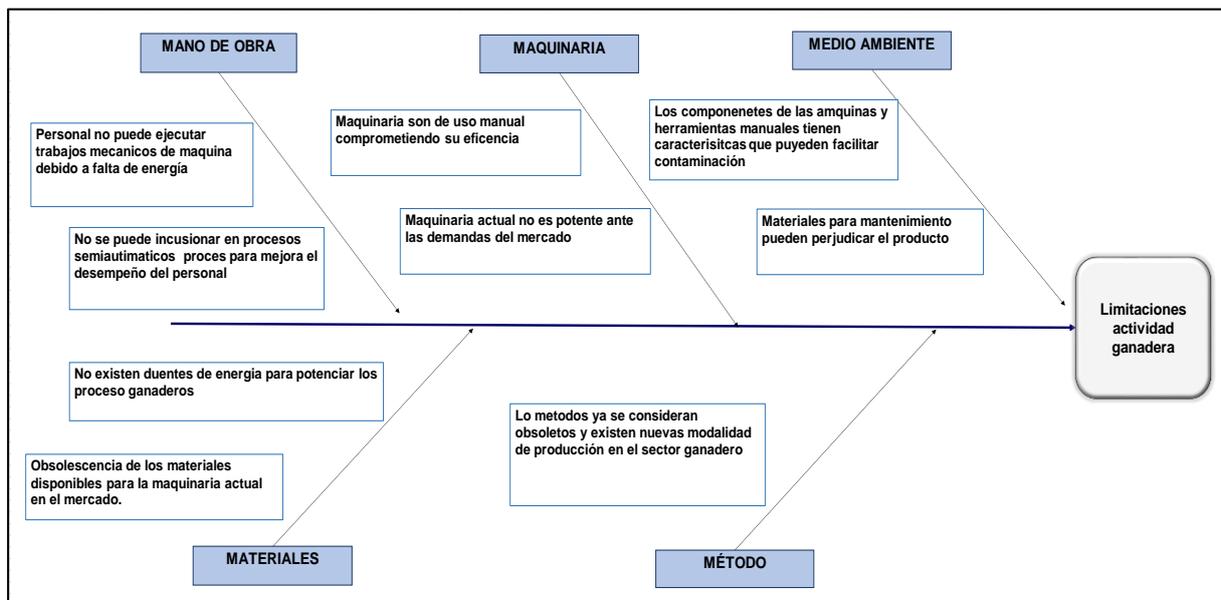
La ausencia de un suministro eléctrico confiable limita severamente las actividades ganaderas, que a menudo requieren energía para procesos como el ordeño mecánico, la refrigeración de productos lácteos y el funcionamiento de equipos de alimentación y riego. La falta de energía no solo reduce la eficiencia de estas operaciones, sino que también puede comprometer la calidad y la seguridad de los productos ganaderos, impactando negativamente en la viabilidad económica de la finca.

Para abordar estos problemas, sería beneficioso explorar alternativas de energía renovable que puedan adaptarse a la ubicación remota de la finca y proporcionar una fuente de energía sostenible y confiable. Esto podría incluir sistemas solares, eólicos o híbridos que sean

capaces de satisfacer las necesidades energéticas de la finca y permitir la implementación de mejoras en las operaciones ganaderas y en la contención del ganado.

Figura 12

Ishikawa sobre las limitaciones actividad ganadera



Nota: Se determinan las causas a las Limitaciones de la actividad ganadera, Elaboración propia.

Problemas de hidratación con el ganado

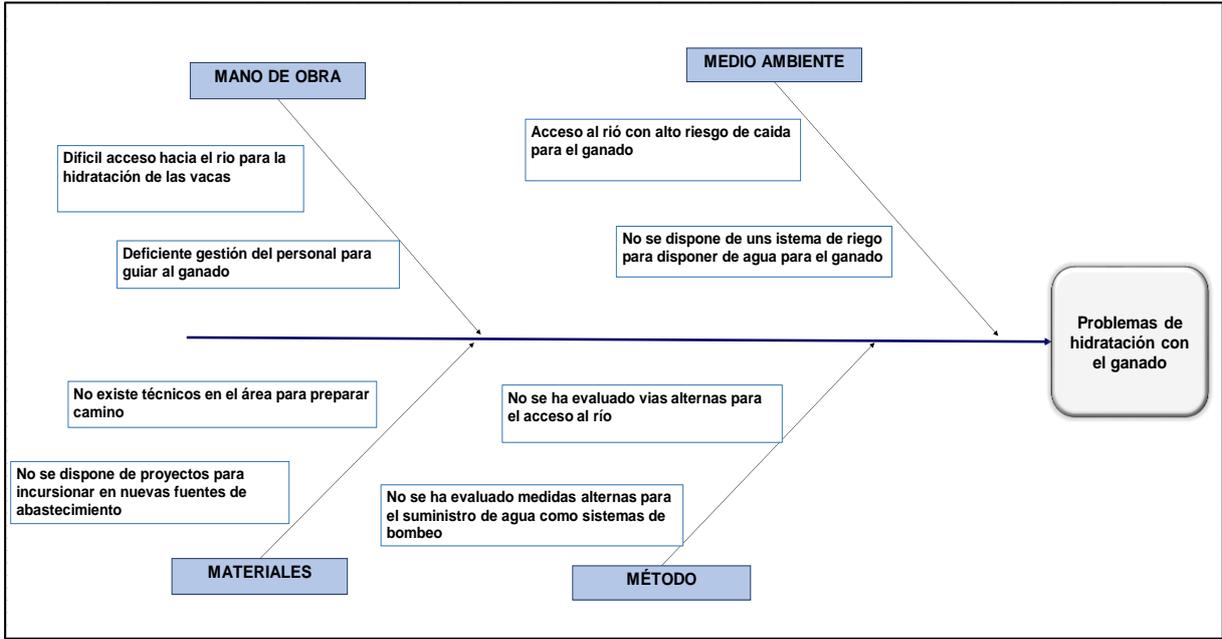
El aumento en la mortalidad del ganado debido a la necesidad de buscar agua en un río cercano se ha convertido en un desafío crítico para los ganaderos. La topografía irregular del terreno agrava este problema, ya que obliga a los animales a enfrentarse a peligros constantes mientras buscan satisfacer su necesidad básica de hidratación. Las caídas frecuentes son inevitables en este entorno, y lamentablemente, muchas de estas caídas resultan en lesiones graves o incluso en la muerte del ganado.

Esta preocupante situación no solo tiene un impacto devastador en el bienestar animal, sino que también genera pérdidas significativas para los ganaderos. Cada pérdida de ganado no solo representa una inversión económica perdida, sino que también afecta la estabilidad

financiera de los ganaderos y sus familias. Además, la disminución en la población de ganado puede tener repercusiones a largo plazo en la producción de carne y leche, lo que afecta la seguridad alimentaria y la economía local.

Figura 13

Ishikawa sobre los problemas de hidratación con el ganado



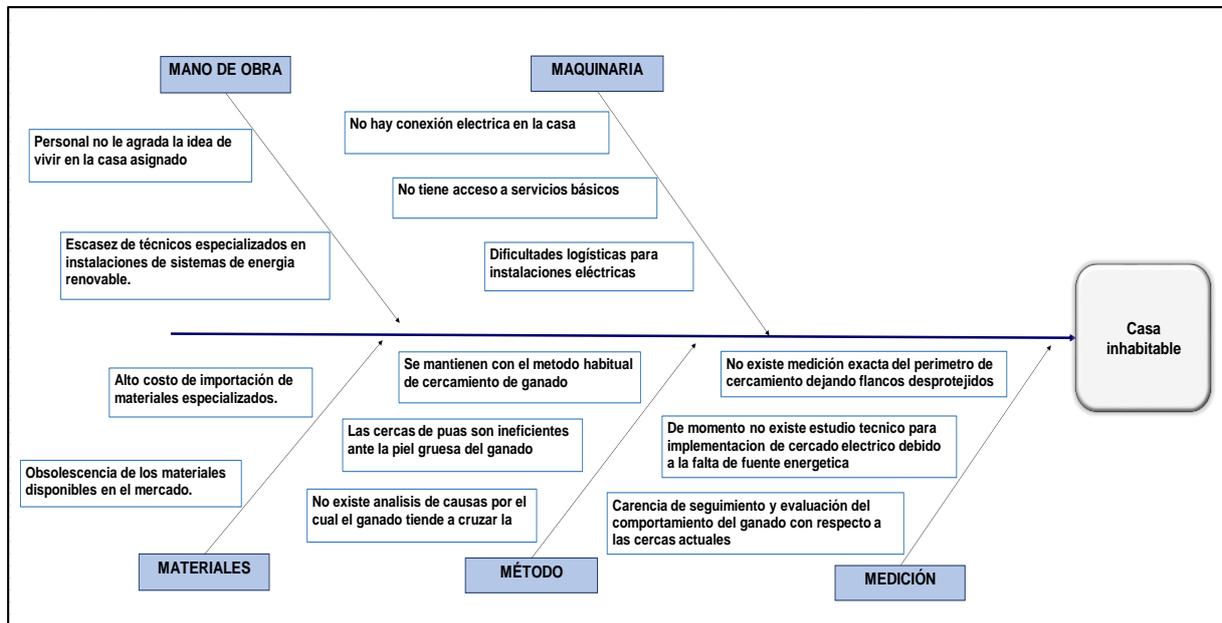
Nota: Se determina las causas a los Problemas de hidratación del ganado, Elaboración propia.

No se puede vivir en las casas de la finca

Dado que hay dos casas de campo en la finca que carecen de energía eléctrica, se ha vuelto inevitable incurrir en un gasto diario para desplazarse hasta la finca. Este gasto, que asciende a aproximadamente \$20 al día, representa una carga económica significativa. La falta de suministro eléctrico en las casas afecta la habitabilidad y la comodidad de las personas que trabajan o viven en la finca.

Figura 14

Ishikawa sobre la inhabitabilidad de las casas



Nota: Se analiza el problema de la inhabitabilidad de las dos casas de campo existentes,

Elaboración propia.

Área de estudio

Para delimitar el área de estudio se ha desarrollado la siguiente tabla, en base a los lineamientos y líneas de investigación determinados por la Universidad Indoamérica.

Tabla 5

Área de estudio

Dominio	Tecnología, Sociedad y Hábitat Sostenible
Línea de investigación	Sistemas Industriales
Sub-Línea de investigación	Optimización energética de procesos con la integración de sistemas de generación renovable, eficiencia energética y estrategias de ahorro de energía.
Campo	Ingeniería Industrial
Área	Automatización

Aspecto	Sistemas de respaldo energético
Objeto de estudio	Diseño de un sistema de energía renovable para una finca ubicada en Illolán, Pichincha
Período de análisis	Marzo 2024 – Julio 2024

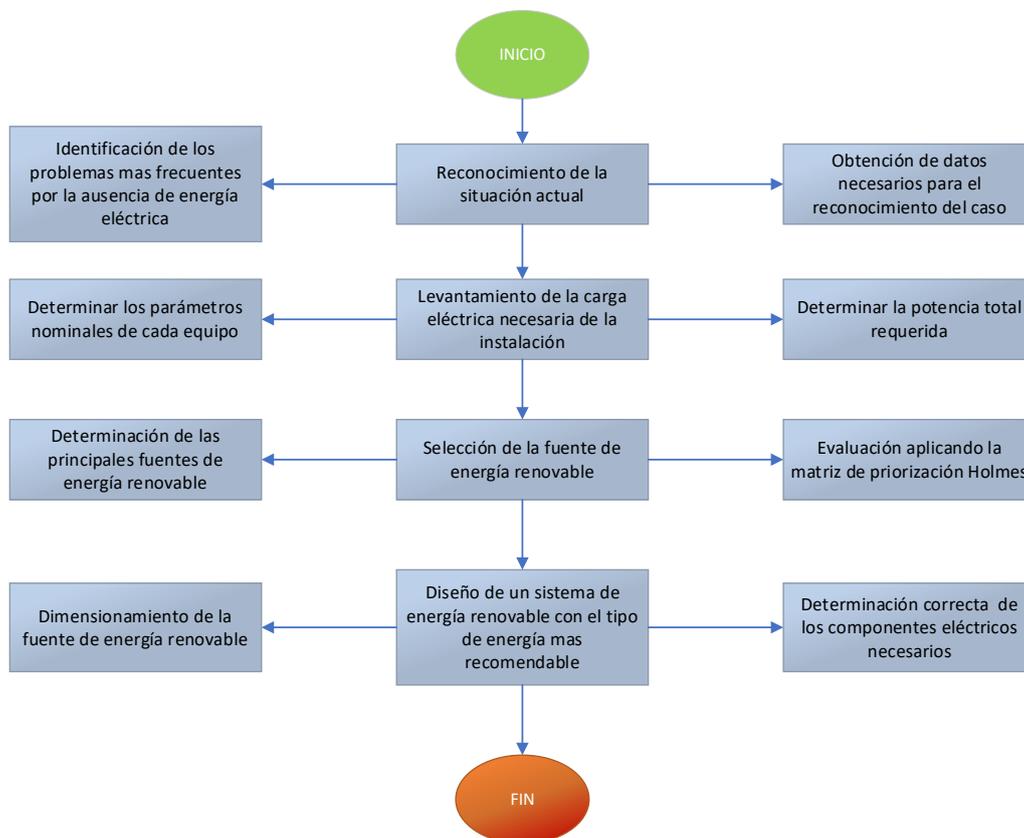
Nota. En base a las líneas de investigación determinados por Universidad Indoamérica, 2023.

Modelo Operativo

Con el propósito de alcanzar los objetivos propuestos en esta investigación y resolver las dificultades identificadas durante el análisis del proyecto, se introduce este modelo operativo. Este modelo, que ha sido seleccionado y modificado a partir de estudios previos, presenta una estructura coherente y secuencial para el abordaje y resolución del problema detectado.

Figura 15

Modelo operativo



Nota: Adaptado de Modelo Operativo (pag.30), por (Zambrano, 2023)

El proceso de implementación del sistema de energía renovable en la finca comienza con la identificación de las necesidades técnicas. Este paso implica un análisis detallado de las necesidades específicas de cada área de la finca que requiere electricidad, considerando factores como la cantidad y tipo de equipo eléctrico, horarios de uso y requisitos de potencia.

Se procede con el levantamiento de la carga eléctrica necesaria, realizando un inventario de todos los equipos eléctricos y calculando la carga total que necesitará el sistema de energía renovable. Basándose en esta carga eléctrica levantada, se determina la potencia total que el sistema debe ser capaz de suministrar. A continuación, se identifica la demanda energética, estimando la cantidad de energía que la instalación consumirá regularmente para dimensionar adecuadamente el sistema. Se realiza un estudio de la demanda energética de operación, analizando cómo varía durante las operaciones diarias para asegurar que el sistema pueda manejar los picos de consumo.

Seguidamente, se identifican las principales fuentes de energía renovable disponibles localmente, como solar, eólica, hidráulica, etc., y se selecciona la fuente más adecuada para la finca, considerando factores como la eficiencia, costos y disponibilidad. Se evalúan las opciones aplicando la matriz de priorización Holmes, herramienta que ayuda a priorizar basándose en criterios como el impacto ambiental y la viabilidad económica.

Se crea un diseño preliminar del sistema de energía renovable, seleccionando los componentes adecuados y planificando su integración. En esta fase se determina el tamaño y la capacidad de la fuente de energía alterna renovable con el objetivo de cubrir las necesidades energéticas de la finca. Además, se eligen los componentes eléctricos adecuados para el sistema, incluidos controladores, baterías e inversores.

CAPÍTULO III

Propuesta y resultados esperados

Desarrollo del proyecto

Como punto central de esta propuesta es desarrollar un diseño técnico detallado de un sistema de energía renovable que cubra las necesidades energéticas de la finca ubicada en Illolán, Pichincha. Basándonos en el análisis de la carga eléctrica y la evaluación de los dispositivos electrónicos necesarios en la finca.

Identificación de carga y dispositivos electrónicos

En este proyecto, se ha realizado un análisis exhaustivo de los aparatos electrónicos que serán alimentados por el sistema de energía renovable basado en paneles solares. La identificación y documentación de estos dispositivos es crucial para dimensionar adecuadamente el sistema fotovoltaico, asegurando que se satisfagan todas las necesidades energéticas de la finca de manera eficiente y sostenible. A continuación, se presenta una tabla que detalla la cantidad, la potencia individual y la potencia acumulada de cada tipo de artefacto y equipo electrónico presente en la finca.

Tabla 6

Artefactos y equipos de la finca

Artefactos y Equipos	Cantidad	Potencia Individual (W)	Potencia Acumulada (W)
Focos (LED)	14	15	210
Televisor	2	115	230
Licuada	2	300	600
Refrigerador	2	250	500
Tomacorrientes	8	110	880
Ordeño mecánico	2	110	220
Bomba de agua	1	250	250
Lavadora	1	500	500

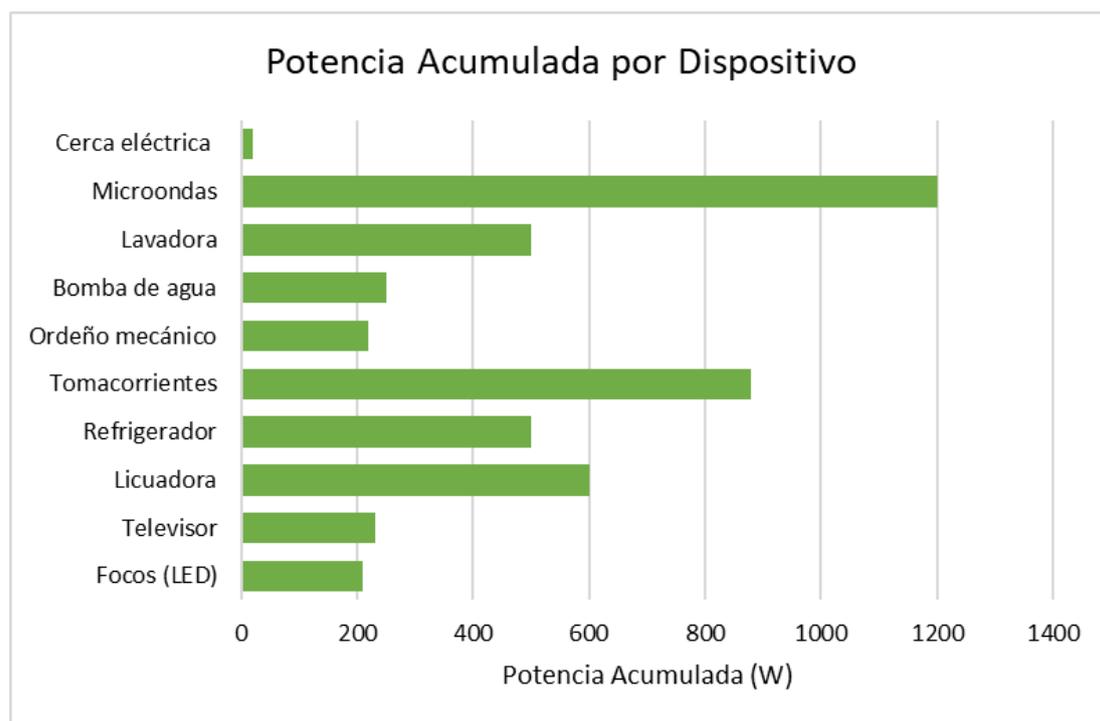
Microondas	1	1200	1200
Cerca eléctrica	4	5	20
Total			4610

Nota. En esta tabla se muestra los detalles de consumo de los electrodomésticos necesarios en la finca, Elaboración propia.

La tabla muestra una lista detallada de los artefactos y equipos electrónicos, su cantidad, la potencia individual de cada uno y la potencia acumulada. Este análisis es fundamental para dimensionar el sistema de energía solar que se implementará en la finca. A continuación, se realiza un análisis detallado de cada grupo de dispositivos.

Figura 16

Potencia acumulada de los artefactos y equipos



Nota: Representación gráfica en barras de la potencia total de cada elemento de consumo eléctrico, Elaboración propia.

Para los focos LED, se ha optado por 14 unidades, cada una con una potencia de 15 W, acumulando un total de 210 W. Se ha elegido focos LED debido a su alta eficiencia energética

y larga vida útil. Su bajo consumo de potencia, comparado con los focos incandescentes, contribuye a una mayor eficiencia global del sistema.

En cuanto a los televisores, se han identificado 2 unidades, cada una con una potencia de 115 W, sumando un total de 230 W. Los televisores modernos tienen un consumo moderado. Es importante considerar que estos dispositivos pueden estar en uso prolongado, afectando el consumo diario de energía.

Para las licuadoras, se tienen 2 unidades con una potencia individual de 300 W, acumulando un total de 600 W. Aunque las licuadoras no se usan continuamente, tienen un consumo considerable durante su operación, por lo que es vital tenerlas en cuenta en el dimensionamiento del sistema.

Los refrigeradores son dispositivos que operan continuamente, siendo una carga constante en el sistema energético. Se cuentan con 2 unidades, cada una con una potencia de 250 W, acumulando un total de 500 W. Su eficiencia es crucial para reducir el consumo total de energía en la finca.

Los tomacorrientes, que alimentan diversos dispositivos de menor consumo, se estiman en 8 unidades, cada una con una potencia promedio de 110 W, sumando un total de 880 W. Este valor puede variar dependiendo de los dispositivos conectados, por lo que se debe considerar un margen en el dimensionamiento.

Los sistemas de ordeño mecánico son esenciales en una finca. Se han identificado 2 unidades, cada una con una potencia de 110 W, acumulando un total de 220 W. Su uso específico y consumo relativamente bajo en comparación con otros equipos asegura que su impacto en el sistema energético sea manejable.

La bomba de agua es crítica para el suministro de agua en la finca. Se cuenta con 1 unidad con una potencia de 250 W. Su operación intermitente implica que su consumo debe ser

considerado con cuidado en el diseño del sistema para asegurar un suministro continuo y eficiente. La lavadora, que representa una carga significativa cuando está en uso, se ha contabilizado con 1 unidad de 500 W. Es importante planificar su uso para no coincidir con otros picos de consumo y así mantener la eficiencia del sistema energético.

El microondas tiene un consumo alto, pero de corta duración. Se ha identificado 1 unidad con una potencia de 1200 W. Su uso debe ser gestionado para evitar sobrecargar el sistema durante otros momentos de alta demanda.

Finalmente, las cercas eléctricas tienen un consumo muy bajo, pueden sumar al consumo total diario de manera significativa ya que son usadas durante todo el día. Se han identificado 4 unidades, cada una con una potencia de 5 W, acumulando un total de 20 W.

Análisis de fuentes renovables de energía

A nivel nacional, las fuentes renovables de energía que conforman la energía hidroeléctrica, la geotérmica, la solar y la eólica. Siendo la más significativa la energía hidroeléctrica, aprovechando la abundancia de ríos y caídas de agua para generar electricidad. La geotérmica también tiene un potencial considerable, debido a la actividad volcánica y geotérmica del país. Además, la energía solar está en crecimiento, gracias a la alta irradiación solar en diversas regiones del Ecuador (Chapi, 2024). Finalmente, la energía eólica se está desarrollando, especialmente en zonas con vientos favorables como la costa y algunas áreas de la sierra.

La demanda de energías renovables ha experimentado un crecimiento significativo, impulsada por la disminución del consumo de los combustibles fósiles y el requerimiento de contribuir con más tipos de energía a la red nacional. Según el Balance Energético Nacional, el país ha visto un aumento en la participación de las energías renovables en su oferta energética, alcanzando un índice de renovabilidad del 70,7% entre 2011 y 2023. Este incremento refleja una tendencia positiva hacia la sostenibilidad y la responsabilidad ambiental.

La justificación para considerar las energías renovables en proyectos agrícolas en Ecuador se basa en varios factores clave. Primero, la implementación de estas tecnologías en zonas rurales promueve la independencia energética, lo cual es crucial en lugares donde no tienen acceso a la energía eléctrica nacional. Además, las energías renovables ofrecen una reducción en los costos de generación eléctrica, lo que beneficia económicamente a las comunidades agrícolas, aportan al cuidado y protección del medio ambiente al reducir los niveles de emisiones de gases de efecto invernadero.

Con el fin de identificar las características importantes de cada alternativa de generación de energía, se elaboró una recopilación información en los siguientes aspectos:

- **Método de generación:** Este término se refiere a los métodos y procesos técnicos mediante los cuales se transforman en electricidad los recursos renovable disponibles en la naturaleza. Con la implantación de tecnologías específicas se pueden transformar energía de varios modos, aprovechando las propiedades físicas de los recursos como el sol, el viento o la biomasa, para convertirlos en energía eléctrica utilizable.
- **Eficiencia:** La eficiencia energética es un indicador clave que mide la capacidad de un sistema de generación para convertir la energía del recurso natural en electricidad. Incluye factores como la vida útil del sistema, que es el período durante el cual se espera que opere de manera efectiva; la eficiencia operativa, que es el porcentaje de energía del recurso que se convierte en electricidad; y la modalidad de energía generada, que puede ser corriente alterna (AC) o corriente directa (DC), dependiendo de la tecnología y la aplicación final de la energía producida. La vida útil y la eficiencia son críticas para determinar la viabilidad económica y técnica de un sistema de energía renovable, mientras que la forma de energía generada influye en la integración del sistema con la infraestructura eléctrica existente y los dispositivos que se alimentarán.
- **Categorías:** En el contexto de las energías renovables, los tipos se refieren a las diversas tecnologías y métodos empleados para la producción de electricidad. Estas categorías se definen por la fuente de energía renovable utilizada y la tecnología específica implementada para su conversión en electricidad.
- **Costo de producción:** El indicador LCOE (Levelized Cost of Electricity), que muestra el coste medio de producir una unidad de electricidad durante la vida útil de una central de producción de energía, se utiliza para evaluar el coste de generación. Se divide el coste total de la inversión (capital, funcionamiento,

mantenimiento y combustible) por la cantidad total de electricidad producida durante la vida útil del proyecto y, a continuación, se utiliza una tasa de descuento que tenga en cuenta el valor temporal del dinero para llegar a esta indicación. El LCOE es crucial para evaluar la rentabilidad de los proyectos de energías renovables y comparar la competitividad económica de las distintas tecnologías de generación.

- **Componentes principales:** Se detallan los elementos y los componentes principales para la puesta en marcha de los tipos de generación de energía.
- **Requisitos de la planta:** Se especifica el costo de instalación y el espacio para implementar la fuente de generación, considerando proyectos realizados en el país.
- **Capacidad instalada:** Representa la mayor cantidad de energía eléctrica que la planta puede generar en condiciones óptimas, expresada en vatios (W) o megavatios (MW), y es un indicador crítico del potencial de generación de la planta.
- **Costo total:** Es el gasto total asociado a la instalación de la planta, normalmente expresado en dólares (\$), contemplando el estudio de viabilidad, adquisición de equipamiento, obras civiles, conexión a la red, trámites de permisos, mantenimiento y salarios del personal, en función de su capacidad de generación.
- **Relación \$/MW instalado:** Es una métrica económica que relaciona el costo total de implementación con la potencia instalada de la planta, proporcionando una comparación estandarizada del costo de inversión por cada megavatio de capacidad instalada. Que representa en dólares y el MW generado.
- **Espacio utilizado:** Basado en la potencia instalada, se refiere al espacio necesario para la implementación del modelo de generación propuesto. Este parámetro es esencial para la planificación del uso del suelo y la evaluación del impacto ambiental.

- **Relación m²/MW instalado:** Es la proporción que indica la cantidad de terreno necesario por cada megavatio de capacidad instalada, reflejando la densidad de la instalación y su eficiencia en términos de uso del espacio. La relación de m² por cada MW instalado.
- **Beneficios:** Las energías renovables ofrecen una serie de ventajas significativas. Principalmente, su impacto ambiental es considerablemente menor en comparación con las fuentes convencionales, ya que durante su funcionamiento no generan gases de efecto invernadero ni otros contaminantes que afecten a la atmósfera. Aumenta la posibilidad de descentralización de la generación energética, permitiendo la producción de energía más cerca de los puntos de consumo y reduciendo las pérdidas asociadas al transporte de energía.
- **Limitaciones:** Las energías renovables también presentan desafíos. La generación de energía puede ser intermitente y dependiente de condiciones climáticas o geográficas, lo que requiere sistemas de almacenamiento o respaldo para garantizar una oferta constante. El costo inicial de inversión puede ser elevado, aunque tiende a compensarse con el tiempo debido a los bajos costos operativos y de mantenimiento. Además, la instalación de algunas tecnologías renovables puede tener un impacto visual en el paisaje o requerir una cantidad significativa de espacio físico.

A continuación, la **Tabla 7** presenta las características de las energías renovables seleccionadas para el presente proyecto (fotovoltaica, eólica y bioenergía) considerando los 7 aspectos previamente mencionados.

Tabla 7

Características de las energías renovables seleccionadas para el proyecto

Fuente de Energía	Forma de Generación	Rendimiento	Tipos	Costo de Generación	Componentes Principales	Condiciones de la Planta de Generación	Ventajas	Desventajas
Energía Fotovoltaica	Conversión directa de luz solar en electricidad mediante células fotovoltaicas.	Vida útil: ~25-30 años. Eficiencia: 15-20%. Energía generada: AC/DC.	Sistemas conectados a red, sistemas autónomos.	LCOE: Bajo, decreciente debido a mejoras tecnológicas.	Paneles solares, inversores, estructuras de montaje.	Potencia instalada: Variable. Costo total: Depende de la escala. Espacio utilizado: Relativamente bajo por MW.	Bajo impacto ambiental, fuente inagotable.	Dependiente de la radiación solar, almacenamiento de energía necesario.
Energía Eólica	Generación de electricidad a través del movimiento de turbinas impulsadas por el viento.	Vida útil: ~20-25 años. Eficiencia: 30-45%. Energía generada: AC.	Aerogeneradores terrestres y marinos.	LCOE: Competitivo, varía según la ubicación.	Turbinas, torres, sistemas de control.	Potencia instalada: Alta. Costo total: Moderado. Espacio utilizado: Amplio por MW.	Renovable, costo operativo bajo.	Impacto visual, variabilidad del viento.
Bioenergía	Producción de energía a partir de biomasa (material orgánico).	Vida útil: Depende de la tecnología. Eficiencia: Variable. Energía generada: AC/DC.	Biocombustibles, plantas de biogás, cogeneración.	LCOE: Medio, influenciado por costos de materia prima.	Reactores, digestores, turbinas.	Potencia instalada: Media. Costo total: Variable. Espacio utilizado: Depende del tipo de biomasa.	Utiliza residuos, diversifica fuentes de energía.	Requiere gestión sostenible de la biomasa, competencia con uso de tierras.

Nota: Características de los 3 tipos de fuentes principales, Elaboración propia

Tabla 8*Característica de Sistema fotovoltaico*

Sistema fotovoltaico	
Método de generación	Paneles solares fotovoltaicos
Eficiencia	Vida Útil: 10-25 años 15-22% para paneles de silicio
Categorías	Residencial, Comercial, Industrial
Costo de producción	\$0.3-\$0.5 por vatio instalado
Elementos	Silicio, Cobre, Aluminio, Vidrio
Capacidad instalada	-Potencia instalada: 5 MW -Costo total (\$): \$49'000. -Relación \$/MW instalado: 980.000 \$/MW instalado -Espacio utilizado: 5600 m ² -Relación m² /MW instalado: 1.120 m ² /MW instalado

Nota. En la tabla se muestra información detallada de los sistemas fotovoltaicos, Elaboración propia.

La **Tabla 8** del sistema fotovoltaico para una finca presenta paneles solares fotovoltaicos ofrecen una vida útil considerable y una eficiencia adecuada para garantizar una fuente de energía a largo plazo. La capacidad instalada y el costo asociado reflejan una inversión inicial significativa, pero con un retorno a través de la generación de energía limpia y la reducción de costos operativos. El uso eficiente del espacio es crucial, especialmente en una finca donde cada metro cuadrado es importante para otras actividades agrícolas.

Tabla 9*Característica de Sistema Eólico*

Sistema Eólico	
Método de generación	Turbinas eólicas
Eficiencia	Vida útil: 20-25 años Eficiencia del sistema: 30-45% Fuente de corriente generada: AC
Categorías	Residencial, Comercial, Industrial, Utilidad
Costo de producción	\$1.3-\$2.2 por vatio instalado
Elementos	Acero, Fibra de vidrio, Resinas, Componentes electrónicos
Capacidad instalada	-Potencia instalada: 2.33 MW -Costo total (\$): \$28000 -Relación \$/MW instalado: 1'201.717 \$/MW instalado -Espacio utilizado: 16,600 m ² -Relación m ² /MW instalado: 7.124 m ² /MW instalado

Nota. En la tabla se muestra información específica de los sistemas eólicos, Elaboración propia.

El análisis de la **Tabla 9** del sistema eólico en una finca, resalta la relevancia de las turbinas eólicas como una solución eficiente y sostenible. La vida útil prolongada y la eficiencia del sistema aseguran un suministro energético confiable a largo plazo. Además, la viabilidad económica se refleja en el costo de producción por vatio instalado, crucial para la planificación

financiera del proyecto. Por último, la relación entre el espacio utilizado y la capacidad instalada es vital para maximizar la producción de energía sin comprometer el uso agrícola de la tierra.

Tabla 10

Característica de Sistema Biomasa

Biomasa	
Método de generación	Plantas de biomasa
Eficiencia	Vida útil: 20-30 años Eficiencia del sistema: 20-35% Fuente de corriente generada: AC
Categorías	Residencial, Comercial, Industrial, Utilidad
Costo de producción	\$2-\$5 millones por vatio instalado
Elementos	Residuos orgánicos, madera, cultivos energéticos
Capacidad instalada	-Potencia instalada: 2 MW -Costo total (\$): \$48000 -Relación \$/MW instalado: 2´400.000 \$/MW instalado -Espacio utilizado: 2,000 m ² -Relación m² /MW instalado: 1000 m ² /MW instalado

Nota. En la tabla se muestra información detallada del sistema biomasa, Elaboración propia.

El análisis de la **Tabla 10** de energía de biomasa se relaciona estrechamente con el diseño de un sistema de energía renovable para una finca, como la ubicada en Illolán. La tabla destaca la eficiencia y la vida útil de las plantas de biomasa, aspectos fundamentales para garantizar una fuente de energía sostenible y confiable a largo plazo. Además, la relación entre

el costo de producción y la capacidad instalada es crucial para determinar la viabilidad económica del proyecto. Por último, la optimización del espacio utilizado y la relación m^2/MW instalado son indicadores esenciales para el diseño eficiente del sistema, asegurando que la finca aproveche al máximo su potencial energético sin comprometer su funcionalidad agrícola.

Análisis a través de la utilización de la matriz diseñada por Holmes.

Para la selección de una fuente de energía alternativa idónea que cumpla con las necesidades energéticas de las instalaciones eléctricas en la finca de estudio, se procederá a evaluar utilizando el método de criterios ponderados desarrollado por Holmes. Este método consta de varios pasos en su ejecución, los cuales se detallan a continuación (Macías, 2018):

Objetivo de la matriz

El propósito primordial de la matriz es establecer cuál de las fuentes de energía renovable alternativas se adecua de manera óptima a los requisitos específicos de generación eléctrica requeridos para abastecer la carga en la finca, garantizando así la continuidad en la prestación del servicio eléctrico. En consonancia con esta meta, se procederá a la elección de las alternativas y criterios de evaluación pertinentes.

Alternativas a evaluar

Para llevar a cabo el diseño del sistema autónomo de generación eléctrica acorde con el total de generación requerida y las especificaciones del lugar, se identifican las siguientes alternativas a evaluar:

- Energía Solar.
- Energía Eólica.
- Energía Geotérmica
- Energía Hidroeléctrica
- Energía por Biomasa.

Estas opciones se seleccionan con el propósito de garantizar la continuidad y calidad del servicio eléctrico sin comprometer su confiabilidad, teniendo en cuenta los recursos disponibles en la ubicación geográfica donde se plantea su implementación.

Parámetros de evaluación

Junto con la identificación de las alternativas, resulta importante tener en cuenta una serie de criterios de evaluación. Estos criterios serán fundamentales para analizar la eficiencia de los tipos de alternativas y para garantizar que cumplan de manera óptima a las necesidades específicas de abastecimiento eléctrico. En esta forma, determinaron los siguientes criterios, los cuales abarcan diversos aspectos relevantes para la selección de la solución energética más adecuada:

- **Viabilidad técnica:** Hace referencia a los elementos tecnológicos esenciales requeridos para la ejecución del proyecto, que abarcan pruebas, equipamiento y análisis de manera efectiva y sostenible en un entorno específico.
- **Situación geográfica:** hace referencia al entorno físico destinado para la instalación del sistema de generación, considerando aspectos como la superficie necesaria y la disponibilidad de recursos, impacto ambiental, entre otros.
- **Costo de implementación:** engloba todos los gastos necesarios para la adopción y puesta en marcha de la fuente alternativa de energía, contemplando los costos asociados a pruebas, materiales, componentes, instalaciones, entre otros.
- **Eficiencia energética:** es la capacidad de aprovechamiento para transformar la mayor parte de energía disponible en trabajo útil, evitando que existan pérdidas en el sistema. Esto significa obtener un mejor aprovechamiento de los recursos naturales para generar electricidad u otros tipos de energía con la menor cantidad de desperdicio.

Determinar una escala de calificación

El próximo paso consistiría en establecer una escala de valoración que refleje la importancia y el impacto para tener en cuenta para cada evaluación. Los valores de la escala y los criterios de evaluación se asignarán de manera conveniente, garantizando que al menos se disponga de la ponderación necesaria con el fin de determinar una alternativa mejor que otra y de este modo, seleccionar la mejor alternativa.

En base a esta asignación, se empleará los valores que se encuentran en 0 y 1, en el hecho de que se considere de igual importancia se asignará el valor de 0,5. Siguiendo estas premisas, se tomará en cuenta el sistema de evaluación binario, es decir, con valores comprendidos de 0 y 1, asignándose un valor de 0,5 en casos donde la importancia sea considerada como igual. Se utiliza el valor "Más importante" (1) para señalar que una alternativa es superior o más relevante que otra. Por otro lado, se asigna el valor "Igual de importante" (0,5) cuando se reconoce una equivalencia de importancia entre dos alternativas. Por último, se utiliza el valor (0) como "Menos importante" para demostrar que una alternativa es de menor relevancia que la otra.

Criterios para evaluar

Una vez determinado las alternativas a evaluar, los criterios a considerar y los valores de calificación de define la ponderación de cada criterio a ser evaluado implica asignar valores iniciales a los criterios específicos. Este proceso tiene como objetivo identificar los aspectos que ejercen mayor influencia en la elección de la alternativa de generación más adecuada.

Tabla 11

Asignación inicial de importancia a los criterios para evaluación.

Criterios	Viabilidad técnica	Situación geográfica	Costo implementación	Eficiencia energética	Resultados	
					Evaluación	Ponderación
Viabilidad técnica	1,00	0,00	1,00	0,00	1,00	0,16
Situación geográfica	1,00	1,00	0,00	0,50	1,50	0,25
Costo implementación	0,00	1,00	1,00	1,00	2,00	0,33
Eficiencia energética	1,00	0,50	0,00	1,00	1,50	0,25
Total					6	1

Nota. Equivalencias de los 4 criterios de evaluación, Elaboración propia.

La **Tabla 11** proporciona una comparación detallada de cuatro criterios clave: Viabilidad Técnica, Situación Geográfica, Costo de Implementación y Eficiencia Energética, evaluados en función de su importancia relativa en la selección de alternativas de generación de energía. Cada criterio se compara con los demás utilizando una escala de evaluación de 0 a 1, lo que permite asignar ponderaciones que reflejen su influencia en la elección final. Este análisis revela que, mientras la Situación Geográfica y el Costo de Implementación son los factores más relevantes, la Viabilidad Técnica y la Eficiencia Energética también tienen una contribución significativa en la toma de decisiones.

Además, la **Tabla 11** destaca cómo cada criterio se valora en relación con los otros, evidenciando que la importancia relativa de cada uno varía según el contexto de la evaluación. Por ejemplo, la Situación Geográfica puede ser considerada más importante que la Viabilidad

Técnica en ciertos casos, mientras que el Costo de Implementación puede tener un peso mayor en comparación con la Eficiencia Energética en otros contextos. Esta comparación permite una ponderación equilibrada y contextualizada de los criterios, lo que contribuye a una toma de decisiones más informada y precisa en la selección de la alternativa de generación de energía más adecuada.

Después de evaluar todos los aspectos, se suman las calificaciones individualmente para cada criterio, obteniendo así los resultados correspondientes a cada uno de los aspectos evaluados. La suma de estas calificaciones da como respuesta el total resultante de las evaluaciones, que en este caso tiene un valor de 6. La ponderación individual de los criterios se obtiene mediante la proporción de cada criterio de evaluación respecto al número total, utilizando la siguiente ecuación:

$$Ponderación = \frac{Evaluación\ individual}{Evaluación\ total}$$

En la **Tabla II** , se calcula la ponderación del criterio de Viabilidad Técnica en comparación con los demás criterios utilizando la siguiente ecuación:

$$Ponderación\ Viabilidad\ técnica = \frac{1,0}{6}$$

$$Ponderación\ Viabilidad\ técnica = 0,16$$

Al calcular correctamente todas las ponderaciones individuales de cada factor, se obtiene un total de 1.

Según la ponderación de los criterios evaluados en la **Tabla II**, se determinó que el costo de implementación es el criterio más importante, con una ponderación de 0,33. Le siguen la situación geográfica y la eficiencia energética, ambos con una ponderación de 0,25. Por último, la viabilidad técnica para la implementación tiene una ponderación de 0,16.

Evaluar las alternativas conforme a los criterios definidos

Tomando en consideración las alternativas y los criterios definidos anterior, la siguiente acción en el proceso es ejecutar la misma operación desarrollado en la **Tabla 11**. Esto nos permitirá obtener los resultados correspondientes para cada caso.

Viabilidad técnica:

Tabla 12

Evaluación de alternativas por viabilidad técnica

Criterio: Viabilidad técnica						Resultados	
	Solar	Eólica	Geotérmica	Hidroeléctrica	Biomasa	Evaluación	Ponderación
Solar		1,00	1,00	0,50	1,00	3,5	0,35
Eólica	0,00		1,00	0,00	1,00	2,00	0,20
Geotérmica	0,00	0,00		0,00	0,50	0,50	0,05
Hidroeléctrica	0,00	1,00	1,00		1,00	3,00	0,30
Biomasa	0,00	0,50	0,50	0,00		1,00	0,10
Total						10	1,00

Nota. Adaptado de matriz de Holmes, por (Zambrano, 2023, pág. 59). Se muestra la evaluación de los tipos de fuentes de energía según el criterio de viabilidad técnica, Elaboración propia.

En el criterio de Viabilidad Técnica se evidencia que la energía solar representa un valor superior de ponderación, con un valor de 0,35 como se refleja en la **Tabla 12**. Le sigue la energía hidroeléctrica, con 0,30. La evaluación comparó cada alternativa en términos de

tecnología necesaria para su implementación. Al comparar la energía solar con la eólica, se concluyó que la energía solar tiene mejor condición, asignándoles un valor de 1, debido a la disponibilidad tecnológica en el país.

Situación geográfica

Tabla 13

Evaluación de alternativas por situación geográfica

Criterio: Situación geográfica						Resultados	
	Solar	Eólica	Geotérmica	Hidroeléctrica	Biomasa	Evaluación	Ponderación
Solar	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	4,00	0,40
Eólica	0,00	1,00	0,00	0,00	0,50	0,50	0,05
Geotérmica	0,00	1,00	1,00	0,00	0,50	1,50	0,15
Hidroeléctrica	0,50	1,00	1,00	1,00	0,00	2,50	0,25
Biomasa	0,00	1,00	0,50	0,00	1,00	1,50	0,15
Total						10	1,00

Nota. Adaptado de tabla de ponderación de Situación Geográfica, por (Zambrano, 2023, pág. 60). Se muestra el resultado de la evaluación de los tipos de fuentes de energía según la situación geográfica.

En la **Tabla 13**, se evidencia que, según la ubicación geográfica prevista para el proyecto, la alternativa con mayor ponderación es la energía solar, con un valor de 0,40.

Para determinar esto, se compararon las alternativas de esta forma: en comparación de la fuente solar y la fuente eólica termina siendo favorecida la implementación de una instalación fotovoltaica, debió a la ubicación geográfica, también resultando adecuado el espacio necesario para su instalación. Por tal motivo, una instalación eólica recibió una calificación de 0, siendo la fuente de generación solar considerada más relevante con una calificación de 1.

Costo de implementación (menor)

Tabla 14

Evaluación de alternativas por costo de implementación (menor)

Criterio: Costo de implementación (menor)						Resultados	
	Solar	Eólica	Geotérmica	Hidroeléctrica	Biomasa	Evaluación	Ponderación
Solar		1,00	1,00	1,00	0,50	3,50	0,35
Eólica	0,00		1,00	0,50	1,00	2,50	0,25
Geotérmica	0,00	0,00		1,00	1,00	2,00	0,20
Hidroeléctrica	0,00	0,50	0,00		1,00	1,50	0,15
Biomasa	0,50	0,00	0,00	0,00		0,50	0,05
Total						10	1,00

Nota. Adaptado de tabla de ponderación Costo de Implementación, por (Zambrano, 2023, pág. 61). Se muestra el resultado de la evaluación de los distintos tipos de energía según el criterio costos de implementación.

En la **Tabla 14**, se evidencia que, según el criterio costo de implementación prevista para el proyecto, la alternativa con mayor ponderación es la energía solar, con un valor de 0,35.

Para determinar este valor como resultado se analizaron las alternativas de esta forma: al analizar la energía fotovoltaica con una calificación de 1 en comparación de la energía eólica, geotérmica e hidroeléctrica, concluye siendo favorecida el costo de implementación de una fuente de energía solar, debido a que su costo de instalación es menor en relación a las otras alternativas. Además, se considera que la energía generada por biomasa es de la misma importancia que la solar en este aspecto, con una calificación de 0,5.

Eficiencia energética

Tabla 15

Evaluación de alternativas por la eficiencia energética

Criterio: Eficiencia energética						Resultados	
	Solar	Eólica	Geotérmica	Hidroeléctrica	Biomasa	Evaluación	Ponderación
Solar		1,00	1,00	1,00	1,00	4,00	0,40
Eólica	0,00		1,00	0,50	0,50	2,00	0,20
Geotérmica	0,00	0,00		0,50	0,50	1,00	0,10
Hidroeléctrica	0,00	0,50	0,50		0,50	1,50	0,15
Biomasa	0,00	0,50	0,50	0,50		1,50	0,15
Total						10	1,00

Nota. Adaptado de matriz de Holmes, por (Zambrano, 2023, pág. 62). Se muestra el resultado de la evaluación de los tipos de energía según el criterio de la eficiencia energética.

La **Tabla 15** muestra que la energía alterna fotovoltaica obtiene un mayor valor de ponderación en el criterio de Eficiencia Energética, con una calificación de 0,40.

Gracias a la abundancia del recurso solar en esa zona, además de que tiene una autonomía energética en lugares sin acceso a la red eléctrica. Al comparar la energía solar con la eólica, se concluyó que la instalación de paneles solares tiene un mayor aprovechamiento debido a su menor impacto ambiental y visual. Por lo tanto, la energía solar recibió una calificación de 1, mientras que la energía eólica obtuvo una calificación de 0 debido a la posibilidad que existen de alterar la estabilidad del lugar donde se coloque, además de su necesidad de un amplio espacio físico y su contaminación visual y ecológico.

Elaborar la matriz de resultados

Después de evaluar las alternativas según cada criterio, se crea una tabla en la que se presentan los resultados que muestra la ponderación inicial de criterios y los resultados de ponderación por cada alternativa. Esta matriz se presenta en la **Tabla 11**.

Tabla 16

Resultados de alternativas por criterio

Alternativas	Criterios			
	Viabilidad técnica	Situación geográfica	Costo implementación	Eficiencia energética
Ponderación inicial de criterios	0,16	0,25	0,33	0,25
Solar	0,35	0,40	0,35	0,40
Eólica	0,20	0,05	0,25	0,20
Geotérmica	0,05	0,15	0,20	0,10
Hidroeléctrica	0,30	0,25	0,15	0,15
Biomasa	0,10	0,15	0,05	0,15

Nota. Adaptado de los Resultados de alternativas, por (Zambrano, 2023, pág. 63). Se muestra los resultados finales de los tipos de energía evaluados según los 4 criterios, mencionados en las Tablas (11, 12, 13, 14 y 15).

Para calcular los valores de ponderación final basados en la **Tabla 16**, se realiza la multiplicación de la ponderación inicial de cada uno de los criterios por la ponderación de cada alternativa a evaluar. Puesto que de este modo determina la importancia de cada criterio según la calificación proporcional obtenida. Por ejemplo, si consideramos la alternativa solar con una ponderación de (0,35) y la relacionamos con el criterio de Viabilidad Técnica con una ponderación de (0,16), el resultado sería (0,056), que es el producto de los valores mencionados.

$$0,35 * 0,16 = 0,056$$

Sabiendo el procedimiento para calcular los valores de ponderación de las alternativas a estudiar, este mismo método se aplica a todos los valores presentes en la **Tabla 16**, con el objetivo de determinar los valores resultados en la **Tabla 17**. Para obtener el resultado final de las ponderaciones de cada alternativa se suman los valores calculados de cada tipo de energía (fila) mencionados en la **Tabla 17**. Por otro lado, para obtener la ponderación total de cada criterio, se suman los valores de cada criterio a evaluar (columna). Es fundamental destacar que la suma individual de estos resultados debe ser igual a 1.

Tabla 17*Ponderación final de alternativas*

Alternativas	Criterios				Ponderación final
	Viabilidad técnica	Situación geográfica	Costo implementación	Eficiencia energética	
Solar	0,06	0,10	0,12	0,10	0,37
Eólica	0,03	0,01	0,08	0,05	0,18
Geotérmica	0,01	0,04	0,07	0,03	0,13
Hidroeléctrica	0,05	0,06	0,07	0,04	0,21
Biomasa	0,02	0,04	0,02	0,04	0,11
Total	0,16	0,25	0,34	0,25	1,00

Nota. Adaptado de Resultados de ponderación, por (Zambrano, 2023, pág. 64). Se muestra la ponderación final de cada tipo de energía, el cual nos permite seleccionar la más adecuada.

Tras analizar los datos de la **Tabla 17**, se concluye que la energía solar es la opción más favorable, con un peso ponderado de **0,37**. Esta alternativa se destaca como la preferida para su selección como fuente energética debido a su menor costo de implementación en comparación con las demás opciones evaluadas. Además, las condiciones geográficas del área permiten un óptimo aprovechamiento de esta fuente.

Desarrollo del diseño técnico de un sistema de energía renovables

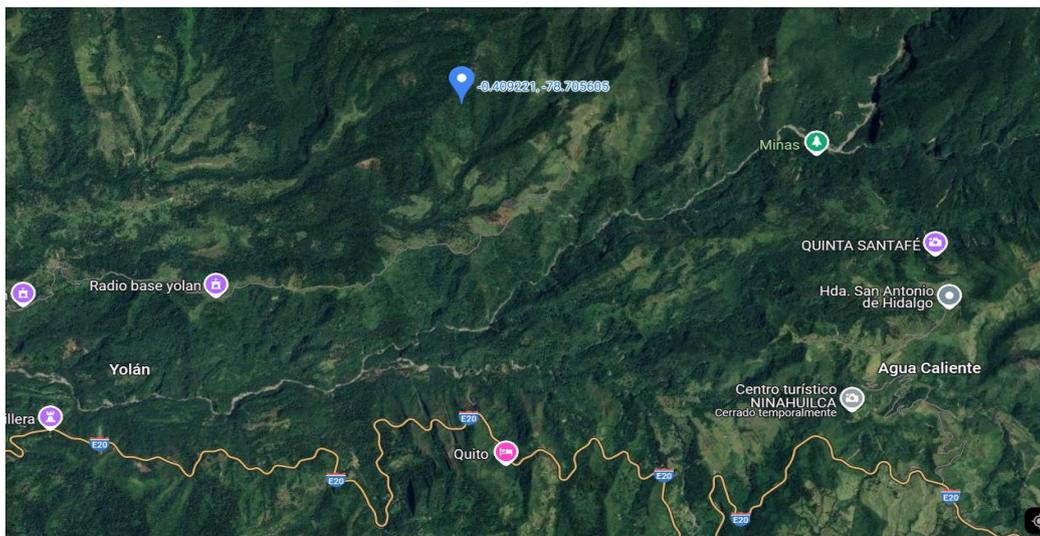
Dimensionamiento de un sistema solar fotovoltaico

Según los resultados obtenidos en la matriz de ponderación final de la **Tabla 17**, el tipo de energía más adecuada es el fotovoltaico, debido a las condiciones climáticas favorables en Illolán y a la eficiencia de esta tecnología. Los paneles solares fotovoltaicos convertirán la luz solar en electricidad, la cual será almacenada en baterías para su uso continuo.

Para identificar el lugar de estudio donde se pretende implementar el sistema de energía renovables se emplea (Maps, 2024).

Figura 17

Ubicación geográfica de la finca

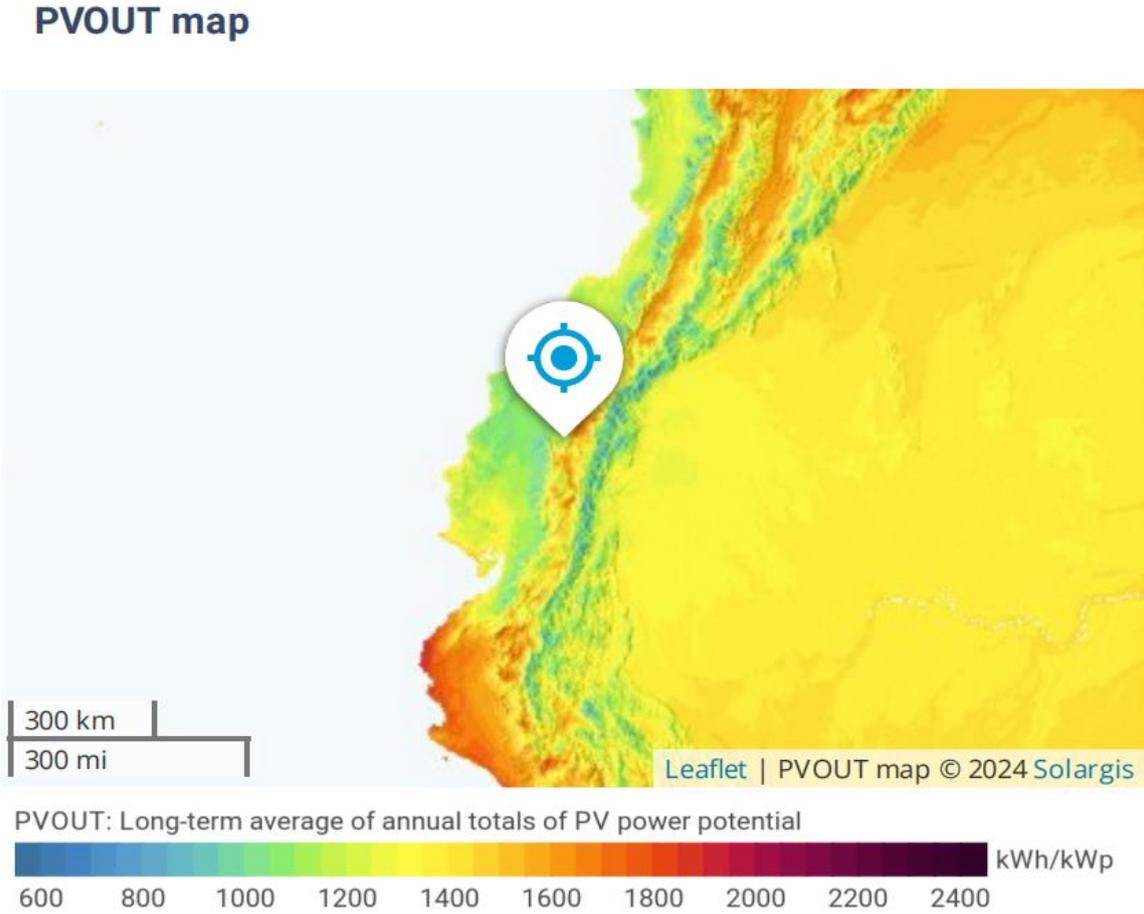


Nota: Extraído de (Google Maps, 2024). Se puede observar la ubicación de la finca.

Empleando la herramienta Global Solar Atlas se identifica los datos climáticos del lugar de estudio, con la ayuda de estos datos se puede comprender el nivel de radiación que existe en el lugar. El rango de radiación en la que trabaja esta desde los 600 kWh/kWp a los 2400 kWh/kWp.

Figura 18

Ubicación geográfica del lugar de estudio en GHI



Nota: Extraído de (ATLAS, 2024). Muestra los niveles bajos y altos de radiación solar en el lugar de estudio.

Con la información emitida por el programa se puede evidenciar que el lugar de estudio es una zona de gran radiación por lo cual nos permite seguir con el proyecto,

Figura 19

Datos de radiación solar emitida por Global Solar Atlas

Map data				Per day	Map data				Per year
<input checked="" type="checkbox"/>	Specific photovoltaic power output	PVOUT specific	3.281	kWh/kWp per day	<input checked="" type="checkbox"/>	Specific photovoltaic power output	PVOUT specific	1197.6	kWh/kWp
	Direct normal irradiation	DNI	2.621	kWh/m ² per day		Direct normal irradiation	DNI	956.8	kWh/m ²
	Global horizontal irradiation	GHI	3.974	kWh/m ² per day		Global horizontal irradiation	GHI	1450.4	kWh/m ²
	Diffuse horizontal irradiation	DIF	2.249	kWh/m ² per day		Diffuse horizontal irradiation	DIF	821.0	kWh/m ²
	Global tilted irradiation at optimum angle	GTI opta	3.969	kWh/m ² per day		Global tilted irradiation at optimum angle	GTI opta	1448.8	kWh/m ²
	Optimum tilt of PV modules	OPTA	4 / 0	°		Optimum tilt of PV modules	OPTA	4 / 0	°
	Air temperature	TEMP	12.9	°C		Air temperature	TEMP	12.9	°C
	Terrain elevation	ELE	N/A			Terrain elevation	ELE	N/A	

Nota: Extraído de (GLOBAL SOLAR ATLAS, 2024), Se refleja los datos de radiación solar por día y por año.

Figura 20

Irradiación normal directa del lugar



Nota: Extraído de (GLOBAL SOLAR ATLAS, 2024), se muestra el promedio de radiación solar existente en el lugar en base a los horarios del día y los meses del año.

Rendimiento global de la instalación

Al comenzar el diseño de un sistema fotovoltaico, es esencial tener en cuenta que su capacidad de generar energía dependerá del rendimiento de todos los componentes que lo conforman. En la etapa de planificación, es crucial prever un margen para las posibles

ineficiencias. Si el sistema se diseña con una capacidad que iguala estrictamente la demanda energética estimada, sin considerar dichas ineficiencias, se generará un déficit de energía, ya que la cantidad de energía utilizable será menor de lo esperado, lo que afectará el suministro para los usuarios finales (Chapi, 2024, pág. 56).

El valor del rendimiento global se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$R = (1 - k_b - k_i - k_r - k_v) * (1 - k_a * N/P_d)$$

Donde:

R= Rendimiento global de la instalación

kr= Pérdida por elementos reguladores

ki= Pérdida por componentes inversores

kb= Pérdida por elementos de almacenamiento

kv= Pérdidas varias

ka= Pérdidas debido a autodescarga de las baterías

N= Número de días de la autonomía

Pd= Profundidad máxima de descarga de las baterías

Para obtener el rendimiento global de la instalación se selecciona los factores (k) detallados en la siguiente figura:

Figura 21

Coeficiente de pérdida

Kb	Pérdidas en el proceso de acumulación	Kv	Otras pérdidas no consideradas
0,05	Acumuladores nuevos, sin descargas intensas	0,1	Si no se han tenido en cuenta pérdidas en cableado y equipos
0,1	Acumuladores viejos, descargas intensas	0,05	Si se ha realizado un estudio detallado de pérdidas
Kr	Pérdidas en el controlador de carga	Pd	Profundidad de descarga máxima admisible
0,1	Controlador de carga eficiente	0,9	Batería descargada hasta el 90%
0,15	Controlador de carga antiguo, poco eficiente	0,8	Batería descargada hasta el 80%
Ka	Autodescarga de la batería	0,7	Batería descargada hasta el 70%
0,002	Baterías de baja autodescarga, sin mantenimiento	0,6	Batería descargada hasta el 60%
0,005	Baterías estacionarias de energía solar	0,5	Batería descargada hasta el 50%
0,012	Baterías de alta autodescarga	0,4	Batería descargada hasta el 40%
Ki	Pérdidas por el rendimiento del inversor	0,3	Batería descargada hasta el 30%
0	No hay inversor en la instalación	N	Número de días de autonomía
0,05	Rendimiento inversor 95%	3	Vivienda fines de semana
0,1	Rendimiento inversor 90%	5	Vivienda habitual
0,15	Rendimiento inversor 85%	15	Instalaciones especiales con servicio prioritario
0,2	Rendimiento inversor < 85%	20	Instalaciones especiales alta fiabilidad

Nota: Adaptado de los valores de típicos de los coeficientes de pérdidas de sistema fotovoltaicos, por (Chapi, 2024).

$$k_r = 0,1$$

$$k_i = 0,05$$

$$k_b = 0,05$$

$$k_v = 0,1$$

$$k_a = 0,005$$

$$N = 20$$

$$P_d = 0,8$$

$$R = (1 - k_b - k_i - k_r - k_v) * \left(1 - k_a * \frac{N}{P_d}\right)$$

$$R = (1 - 0,05 - 0,05 - 0,1 - 0,05) * \left(1 - 0,002 * \frac{20}{0,9}\right)$$

$$R = 0,716667 \approx 0,72$$

Ya calculado el valor del rendimiento global de la instalación, se determina la energía necesaria que se debe generar mediante la siguiente ecuación:

$$E_{FVNecesaria} = \frac{E_{diaria}}{R}$$

Donde:

$E_{FVNecesaria}$ = Energía que se debe generar

E_{diaria} = Energía diaria que se requiere para cumplir con la demanda

R = Rendimiento global de la instalación

La demanda diaria de consumo eléctrico denominado E_{diaria} para 24 horas es equivalente a 4,61 kW-h/día, según la **Tabla 6** y el valor obtenido del rendimiento global tiene un valor de 0,72:

$$E_{FVNecesaria} = \frac{E_{diaria}}{R}$$

$$E_{FVNecesaria} = \frac{4,61 \text{ kW} - \text{h/día}}{0,72}$$

$$E_{FVNecesaria} = 6,4 \text{ kW} - \text{h/día}$$

La fuente de generación instalada tiene que producir 6,4 kW-h/día para cubrir la demanda de consumo diario. Este tipo de procedimiento se puede desarrollar también de manera directa teniendo en cuenta un factor de seguridad de un 20%. Los dos tipos de cálculos están correctos, entonces quedaría de la siguiente manera:

$$E_{FVNecesaria} = E_{diaria} * 1.2$$

$$E_{FVNecesaria} = 4,61 \text{ kW} - h/día * 1.2$$

$$E_{FVNecesaria} = 5,53 \text{ kW} - h/día$$

Para determinar la cantidad de energía diaria que debería entregar cada panel solar seleccionado se debe aplicar la siguiente ecuación:

$$E_{PDiario} = P_{máxp} * HSP$$

Donde:

$E_{PDiario}$ = Energía transformada por cada panel fotovoltaico

$P_{máxp}$ = Potencia máxima de cada panel solar

HSP = Hora solar pico

Los paneles solares empleados en este sistema serán de tipo monocristalinos, el cual se detalla sus características más adelante. Con una potencia de 380 W transformada por el panel fotovoltaico y un HSP medio anual de 1,2 reflejada por Global Solar Atlas según la **Figura 19** Datos de radiación solar emitida por Global Solar Atlas **Figura 19**:

$$E_{PDiario} = P_{máxp} * HSP$$

$$E_{PDiario} = 0,38 \text{ kW} * 1,2 \text{ h/día}$$

$$E_{PDiario} = 0,456 \text{ kW} - h/día$$

El valor de 0,456 kW-h/día será transformado por cada panel fotovoltaico, con este valor se podrá calcular el número específico de paneles solares que genere la energía requerida.

Cantidad de paneles fotovoltaicos necesarios

El número de paneles solares requeridos se estimará mediante la energía que el sistema debe producir diariamente y la energía potencial de cada panel. Para el cálculo del mismo se

sabe que la energía a producir por el sistema fotovoltaico es de 6,4 kW-h/día y cada panel debe generar 0,456 kW-h/día, con estos valores se aplica la siguiente ecuación:

$$N_{TP} = \frac{E_{FVNecesaria}}{E_{PDiaria}}$$

$$N_{TP} = \frac{6,4 \text{ kW} - \text{h/día}}{0,456 \text{ kW} - \text{h/día}}$$

$$N_{TP} = 14,04 \approx 14$$

Para cubrir la demanda diaria de consumo de energía eléctrica se necesita 14 paneles solares.

Cálculo de paneles solares en serie

Se denomina “string” al tipo de conexión de paneles solares en serie con el fin de conservar la intensidad del sistema ($I_{máxp}$) y aumentar la tensión del mismo. Se suman las tensiones al estar los componentes en serie. Al sumar las tensiones de cada panel solar ($V_{máxp}$) se calcula la tensión total del string (V_{string}). Para aplicar este tipo de conexión de obtiene mediante el valor del voltaje máximo del inversor elegido, este componente está destinado a transformar la corriente continua (DC) en corriente alterna (AC).

$$N_{mín ps}; N_{máx ps}; = \frac{V_{mín iv}}{Vp}; \frac{V_{máx iv}}{Vp}$$

Donde:

$N_{mín ps}$ = Número mínimo de paneles solares conectados en serie

$N_{máx ps}$ = Número máximo de paneles solares conectados en serie

$V_{mín iv}$ = Voltaje mínimo del inversor

$V_{máx iv}$ = Voltaje máximo del inversor

VP = Voltaje nominal del panel solar

El rango de voltaje recomendado del inversor seleccionado permite conectar en serie un cierto total de paneles solares. Este rango varía entre 90 V y 550 V ($V_{\min iv}$, $V_{\max iv}$), referente de la **Tabla 20**. Considerando que el voltaje de cada panel (VP) es de 39.6 V, se realiza el cálculo necesario para determinar la cantidad adecuada.

$$N_{\min ps}, N_{\max ps} = \frac{V_{\min iv}}{Vp}; \frac{V_{\max iv}}{Vp}$$

$$N_{\min ps}, N_{\max ps} = \frac{90 V}{39.6 V}; \frac{550 V}{39.6 V}$$

$$N_{\min ps}, N_{\max ps} = (2,27; 13,89) \approx (3; 14)$$

A través de este cálculo, se puede establecer que el número mínimo de paneles conectados en serie será de 3 y el máximo de 14. De esta manera, se garantiza que el sistema operará dentro del rango óptimo para el inversor seleccionado.

Cálculo de paneles solares en paralelo

La conexión en paralelo de los “strings” permite incrementar la corriente del conjunto conectado, manteniendo constante el voltaje ($V_{\max p}$). Para calcular la corriente total del sistema ($I_{\max p}$), se sumará la corriente generada por cada string de paneles solares (I_{string}). Al igual que en el caso anterior, el inversor es responsable de admitir una cantidad específica de paneles solares conectados en esta configuración.

Para calcular la cantidad máxima de paneles solares que se pueden conectar en paralelo, se pueden realizar algunas iteraciones basadas en el rango de paneles que se conectarán en serie. A partir de estos datos, se establece una opción viable con un máximo de 7 paneles solares conectados en serie. Con esta información y sabiendo que se necesita un total de 14 paneles, se

puede aplicar la siguiente ecuación para determinar el número adecuado de conexiones en paralelo.

$$N_{pp} = \frac{N_{pT}}{N_{pS}}$$

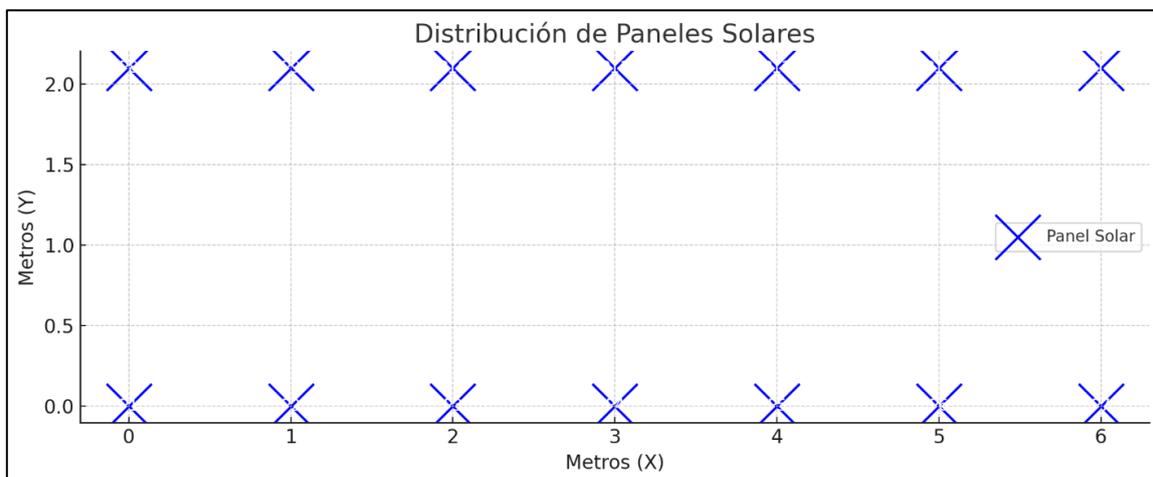
$$N_{pp} = \frac{14}{7}$$

$$N_{pp} = 2$$

Con este valor, se concluye que es necesario conectar un máximo de 2 paneles en paralelo. Por lo tanto, se realizará una sola distribución, este arreglo estará compuesto por 2 paneles conectados en paralelo y 7 en serie, como se muestra en la figura siguiente:

Figura 22

Distribución de paneles solares.



Nota: La separación entre las filas debe ser suficiente para evitar sombras, considerando la inclinación de 0 a 20 grados, Elaboración propia.

Al finalizar este proceso, se deberá comprobar que la potencia generada por el arreglo sea suficiente para cubrir la demanda del sistema y que se mantenga dentro del rango de valores

aceptables para los inversores. Asimismo, es importante asegurarse de que este arreglo tenga los valores nominales para garantizar un funcionamiento equilibrado y eficiente del sistema.

Voltaje del arreglo:

$$V_A = N_{Psa} * V_{NP}$$

Corriente del arreglo:

$$I_A = N_{Ppa} * I_{NP}$$

Donde:

N_{Psa} = Cantidad de paneles solares en serie

V_{NP} = Voltaje nominal del panel fotovoltaico

N_{Ppa} = Cantidad de paneles solares en paralelo

I_{NP} = Corriente nominal del panel fotovoltaico

$$V_A = N_{Psa} * V_{NP}$$

$$V_A = 7 * 39,6 V$$

$$\mathbf{V_A = 277,2 V}$$

$$I_A = N_{Ppa} * I_{NP}$$

$$I_A = 2 * 9,59$$

$$\mathbf{I_A = 19,18 A}$$

Para determinar la potencia del arreglo, con los valores de voltaje y corriente calculados, se emplea la siguiente ecuación:

$$P_A = V_A * I_A$$

$$P_A = 277,2 V * 19,18 A$$

$$P_A = 5316,69 W \approx 5,32 kW$$

Con este cálculo, se determina la potencia que generará el arreglo, asegurando que dicha potencia esté dentro del rango operativo de los inversores seleccionados para el sistema. Esto garantiza un funcionamiento adecuado y eficiente del sistema fotovoltaico.

Capacidad del banco de baterías

Es importante calcular la capacidad que deberá tener el banco de baterías para garantizar un suministro continuo de energía a la finca durante el desarrollo de sus actividades ganaderas, se puede calcular utilizando la siguiente ecuación:

$$\text{Capacidad de la batería} = \frac{\text{Consumo diario} * \text{días de autonomía}}{P_d * V_B}$$

Donde:

P_d = Profundidad máxima de descarga de las baterías

V_B = Voltaje nominal de las baterías 51,2V

El consumo diario representa la demanda máxima de la instalación, que es de 4,61 kW, con una autonomía de 24 horas diarias. Según los datos del fabricante, se estima una descarga máxima permisible del 90% y un voltaje por batería de 51,2V.

$$\text{Capacidad de la batería} = \frac{4610 W * 24 \text{ horas}}{0,9 * 51,2 V}$$

$$\text{Capacidad de la batería} = 2401,04 A - h$$

Con el valor de la capacidad de la batería se puede calcular la cantidad total de baterías necesarias. Aplicando la siguiente ecuación:

$$N_{Tb} = \frac{V_{nom} * C_T}{V_B * C_B}$$

Donde:

N_{Tb} = Cantidad total de baterías para el sistema

V_{nom} = Voltaje nominal del banco de baterías

C_B = Capacidad de cada batería seleccionada

$$N_{Tb} = \frac{59,6 V * 2401,04 A - h}{51,2 V * 200 A - h}$$

$$N_{Tb} = 13,97 \approx 14$$

Para cumplir con la demanda de consumo en un horario de 24 horas, se necesita 14 baterías.

Número de baterías con conexión en serie y paralelo

Con el dato del total de baterías necesarias para el banco, en función del voltaje de operación del sistema y de cada batería individual, el siguiente paso es determinar cuántas baterías se conectarán en serie y cuántas en paralelo. Esta configuración garantizará que el banco de baterías cumpla con los requisitos de voltaje y capacidad requerida:

$$N_{bs} = \frac{V_{nom}}{V_B}$$

$$N_{bs} = \frac{56,9 V}{51,2 V}$$

$$N_{bs} = 1,11 \approx 2$$

Las baterías entregan un voltaje de 56,9 V, entonces las baterías conectadas en serie serán 2.

$$N_{bp} = \frac{N_{Tb}}{N_{bs}}$$

$$N_{bp} = \frac{14}{2}$$

$$N_{bp} = 7$$

Corriente de carga y descarga de las baterías

En este diseño preliminar del banco de baterías, el siguiente paso es calcular la corriente de carga y descarga, que dependerá de la cantidad de baterías conectadas en paralelo, el tiempo de carga deseado y la capacidad de las baterías seleccionadas. Este cálculo es esencial para asegurar que el sistema opere eficientemente y dentro de los límites de seguridad de las baterías, garantizando un rendimiento óptimo durante los ciclos de carga y descarga.

Máxima corriente de carga:

$$C10 = N_{bp} * \frac{C_B}{10 h}$$

C10 = Corriente de carga en 10 h

$$C10 = 7 * \frac{200 A - h}{10 h}$$

$$C10 = 140 A$$

Máxima corriente de descarga:

$$C8 = N_{bp} * \frac{C_B}{24 h}$$

C8 = Corriente de carga en 8 h

$$C8 = 7 * \frac{200 A - h}{8 h}$$

$$C8 = 155,56 A$$

La corriente máxima de carga del banco de baterías será de 140 A durante un período de 10 horas, mientras que la corriente máxima de descarga será de 155,56 A en un lapso de 8 horas.

Dimensionamiento de conductores.

Conductores

Es fundamental dimensionar correctamente los conductores que se utilizarán en las conexiones de la instalación, así como las canalizaciones y protecciones, con el fin de prevenir futuros problemas en el equipo. Para calcular la cantidad de corriente que circulará por el conductor, se aplicará la siguiente ecuación:

Conductores para la conexión de paneles solares:

$$I_c = \frac{I_{nom} * 1,25}{FT * FC}$$

Donde:

I_c = Corriente para el conductor

I_{nom} = Corriente nominal calculada del circuito

FT = Factor de corrección en base a la temperatura (ver **Anexo 8**)

FC = Factor de corrección en base a la cantidad de conductores (ver **Anexo 9**)

Para realizar los cálculos, se considera la corriente nominal del circuito, que corresponde a la corriente de salida de los paneles solares, previamente calculada en 19,18 A. Se recomienda implementar una conexión monofásica utilizando un solo conductor por fase. Según el **Anexo 9**, el factor de corrección por el número de conductores es 1, y el factor de corrección por

temperatura también es 1, lo que indica que el sistema operará en un rango de temperaturas entre 0 y 30°C. Esto asegura que los conductores seleccionados sean adecuados para el entorno y las condiciones operativas esperadas.

$$I_c = \frac{I_{nom} * 1,25}{FT * FC}$$

$$I_c = \frac{19,18 A * 1,25}{1 * 1}$$

$$I_c = 23,98 A$$

Para las conexiones se utilizará un conductor de cobre calibre N°10 AWG, que soporta una corriente de hasta 23,98 A. Este conductor cuenta con un aislamiento tipo TW, que le permite resistir temperaturas de hasta 75°C. Además, es adecuado tanto para instalaciones interiores como exteriores, ya que es resistente al agua y está diseñado para ambientes secos y húmedos. Su sección transversal es de 5,2 mm², de acuerdo con los datos obtenidos del **Anexo 10**. Esto asegura que el conductor seleccionado cumpla con los requisitos técnicos y ambientales del sistema.

Conductores para la conexión de inversor:

En este caso, se utiliza la corriente máxima de salida del inversor, que tiene un valor de 48 A. Al tratarse de una conexión trifásica, el factor de corrección por el número de conductores (*FC*) será 1, según el **Anexo 9**. Además, considerando un rango de temperatura entre 0 y 30°C, el factor de corrección por temperatura (*FT*) también será 1, conforme al **Anexo 8**. Esto asegura que los cálculos se ajusten adecuadamente a las condiciones reales de operación del sistema.

$$I_c = \frac{I_{nom} * 1,25}{FT * FC}$$

$$I_c = \frac{48 A * 1,25}{1 * 1}$$

$$I_c = 60 A$$

En estas conexiones utilizaremos un conductor de cobre calibre N°4 AWG, el cual puede soportar hasta 60 A de corriente máxima. El aislamiento será tipo TW, adecuado para las condiciones de operación, y la sección transversal del conductor será de 21,2 mm², de acuerdo con los datos obtenidos del **Anexo 10**.

Conductores para la conexión de baterías:

Para esta sección, se utilizarán los conductores eléctricos correspondientes a cada equipo que será alimentado desde el centro de cargas del sistema. Estos conductores deberán estar dimensionados adecuadamente para cumplir con las necesidades de cada dispositivo y asegurar una distribución eficiente y segura de la energía dentro del sistema.

Dimensionamiento del controlador de carga MPPT

El controlador de carga es responsable de regular tanto el voltaje como la corriente proveniente de los paneles solares, protegiendo el sistema contra sobrecargas. Al estar conectado directamente con las baterías, también actúa como protección contra descargas profundas, asegurando que las baterías no se descarguen por debajo de un nivel crítico. Además, mantiene equilibrada la carga al distribuir la energía entre los diferentes arreglos de baterías, lo que protege al sistema de sobretensiones. El controlador recibe la energía de los arreglos fotovoltaicos y la envía a los inversores, que transforman la energía de corriente continua (DC) a corriente alterna (AC). Estos controladores, conectados al sistema de baterías, son una parte esencial del sistema fotovoltaico. El cálculo del controlador de carga se basa en los siguientes parámetros:

- Voltaje máximo de entrada (*Input Vmax*)
- Corriente de carga (I_A)

- Especificaciones de la batería

Entonces, los valores calculados anteriormente se pueden decir que:

- $Input V_{max} = 277,2 V$
- $I_A = 19,18 A$
- Batería = 51,2 – 59,6 V

Con estas especificaciones, se pueden encontrar en el mercado varias opciones adecuadas para cubrir la demanda actual. El controlador de carga MPPT 110/20 (ver **Anexo 7**) ofrece un voltaje máximo de carga de 100 V y una corriente de carga de 20 A. Con esta información, se puede proceder a realizar el dimensionamiento adecuado para el sistema, asegurando que el controlador cumpla con los requisitos de operación y proteja tanto los paneles solares como el banco de baterías:

$$V_c = 100 V$$

Por tanto, si el sistema requiere de un voltaje máximo 277,2 V, se debe conectar los controladores de carga en serie:

$$NC_{serie} = \frac{277,2 V}{100 V}$$

$$NC_{serie} = 2,77 \approx 3$$

Dado que el controlador seleccionado puede manejar una corriente de hasta 20 A, no es necesario realizar conexiones en paralelo, ya que un solo controlador es suficiente para gestionar la corriente total del sistema. Esto simplifica el diseño y asegura que el controlador sea capaz de regular y proteger adecuadamente el sistema sin requerir múltiples dispositivos.

Paneles Solares Fotovoltaicos

Descripción

Los paneles solares fotovoltaicos (PV) son dispositivos que convierten la luz solar en electricidad mediante el efecto fotovoltaico. Son una de las fuentes de energía renovable más utilizadas debido a su eficiencia y adaptabilidad.

Especificaciones Técnicas

- Tipo de Panel: Monocristalino, conocido por su alta eficiencia y durabilidad.
- Potencia Nominal: Se eligen paneles de 380W para maximizar la producción de energía.
- Eficiencia de Conversión: 18,7%, que indica un alto rendimiento en la conversión de luz solar en electricidad.
- Dimensiones y Peso: Aproximadamente 2024 x 1004 x 35 mm y 22,8 kg por panel.
- Garantía del Producto: 25 años de rendimiento con una degradación de potencia no mayor al 0.5% anual.

Para cubrir la demanda total de 4610 W, se necesitarán aproximadamente 14 paneles solares de 380 W cada uno.

Tabla 18

Características del panel solar TrinaSolar.

Especificación	Detalles
Modelo	MONOCRISTALINO 380W
Potencia Nominal (Pmax)	380W
Voltaje a Potencia Máxima (Vmp)	39.6 V
Corriente a Potencia Máxima (Imp)	9,59 A
Voltaje en Circuito Abierto (Voc)	48,1 voltios
Corriente de Cortocircuito (Isc)	9,99 A
Eficiencia del Módulo	18,7%
Dimensiones	2024 x 1004 x 35 mm
Peso	22,8 kg
Tipo de Célula	Monocristalino
Temperatura de Operación	-40°C a 85°C
Garantía de Producto	25 años

Nota. En base a la ficha técnica del panel solar emitida por el fabricante (ver **Anexo 4**),

Elaboración propia.

Figura 23

Panel Monocristalino.



Nota: Adaptado de Rayssa, 2022.

Consideraciones de Instalación.

Para garantizar un rendimiento óptimo del sistema de energía solar fotovoltaica en la finca de Illolán, Pichincha, es crucial considerar varios factores clave en la instalación de los paneles solares. Estos incluyen la orientación e inclinación de los paneles, el tipo de estructura de montaje y el espacio disponible para la instalación. A continuación, se desarrolla cada uno de estos aspectos en detalle.

- **Orientación e Inclinación:**

Orientación

La orientación de los paneles solares es fundamental para maximizar la captación de energía solar. En el hemisferio sur, los paneles deben estar orientados hacia el norte para captar la mayor cantidad de luz solar a lo largo del día.

Inclinación:

La inclinación de los paneles solares debe ser ajustada para optimizar la captación solar según la latitud de la ubicación. Para Illolán, Pichincha, que se encuentra cerca del ecuador, una inclinación de 0 a 20 grados respecto a la horizontal es ideal. Esta inclinación ayuda a maximizar la exposición al sol durante todo el año, especialmente durante los meses de menor irradiación solar.

Consideraciones de Sombra:

Es fundamental identificar y evitar áreas donde las sombras de árboles, edificios u otras estructuras puedan caer sobre los paneles solares. Las sombras pueden reducir significativamente la producción de energía y deben ser minimizadas o eliminadas.

Distribución del Espacio:

Montaje en Techo: Si se opta por el montaje en techo, se debe asegurar que el área seleccionada sea lo suficientemente amplia y sin obstrucciones. Es posible que se necesiten múltiples ubicaciones en el techo para acomodar todos los paneles.

Montaje en Suelo: Para el montaje en suelo, se debe elegir un área plana y despejada. Se debe considerar el acceso para el mantenimiento y posibles expansiones futuras del sistema.

Baterías de Almacenamiento

Descripción

Las baterías almacenan la energía generada para su uso posterior, especialmente útil para cubrir periodos sin generación (noche, días nublados).

Especificaciones Técnicas

- Tipo de Batería: Litio-ion, conocida por su alta eficiencia y larga duración.

- Capacidad Nominal: 200 Ah, seleccionada según la demanda energética y autonomía deseada.
- Ciclo de Vida: 6000 ciclos de carga/descarga, lo que se traduce en una larga vida útil.
- Eficiencia de Carga/Descarga: 90%, permitiendo recuperar la mayoría de la energía almacenada.

Número de Baterías:

Se requerirán aproximadamente 14 baterías de 200 Ah.

Tabla 19

Características de la batería de almacenamiento.

Especificación	Detalles
Modelo	Lathium
Capacidad Nominal	5,12 kWh
Voltaje Nominal	51,2V
Corriente Nominal	200 Ah
Eficiencia de Carga/Descarga	90%
Ciclo de Vida	6000 ciclos
Dimensiones	475 x 446 x 200 mm
Peso	52 kg
Tipo de Batería	Iones de litio
Temperatura de Operación	-10°C a 50°C
Garantía de Producto	10 años

Nota. En base a la ficha técnica de la batería emitida por el fabricante (ver **Anexo 6**),

Elaboración propia.

Consideraciones de Instalación

- Seguridad:

Requisitos de Seguridad:

Lugar Seguro: Las baterías deben instalarse en un lugar seguro, preferiblemente en una sala dedicada con acceso controlado. Esto ayuda a prevenir el acceso no autorizado y reduce el riesgo de accidentes.

Sistemas de Ventilación: Es crucial instalar sistemas de ventilación adecuados para evitar el sobrecalentamiento de las baterías. La ventilación asegura que el calor generado durante la carga y descarga de las baterías se disipe eficientemente, manteniendo una temperatura operativa segura.

Protección contra Incendios: La sala de baterías debe estar equipada con sistemas de protección contra incendios, como extintores de clase apropiada y detectores de humo. Esto es vital para mitigar los riesgos de incendio que pueden surgir debido a fallos en las baterías o cortocircuitos.

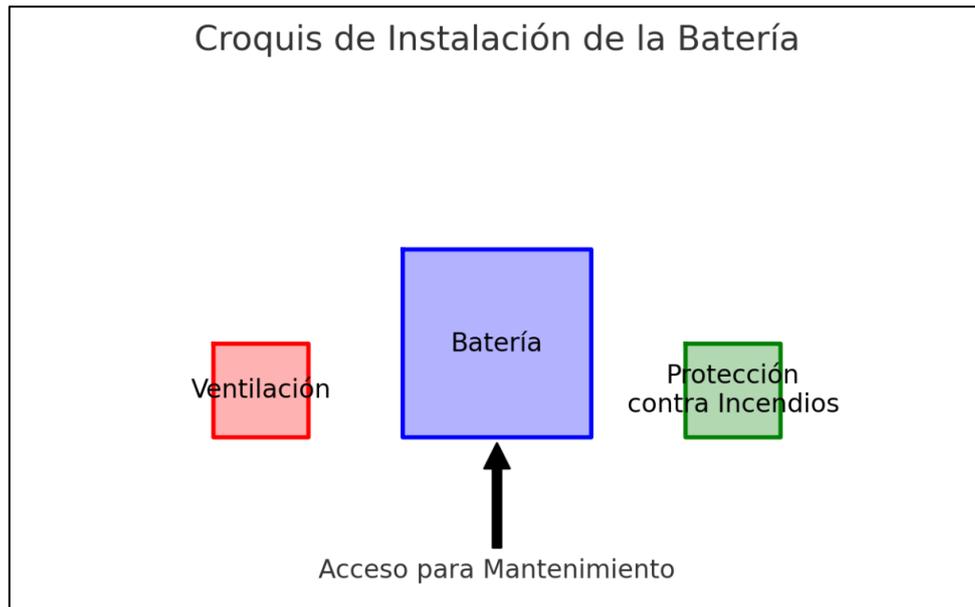
- **Mantenimiento:**

Acceso Fácil: Se debe asegurar que las baterías estén instaladas de manera que sea fácil acceder a ellas para inspección y mantenimiento regular. Esto incluye dejar suficiente espacio alrededor de cada batería para permitir la manipulación y la conexión/desconexión de cables.

Monitoreo Regular: Implementar un sistema de monitoreo regular que permita verificar el estado de las baterías, incluida la capacidad de carga, la eficiencia y la temperatura. El monitoreo proactivo ayuda a identificar y resolver problemas antes de que se conviertan en fallos críticos.

Figura 24

Croquis instalación de batería.



Nota: Se muestra en la manera de instalación de la batería con sus componentes de apoyo, Elaboración propia.

La correcta consideración de la seguridad y el mantenimiento en la instalación de las baterías es crucial para asegurar su eficiencia y longevidad.

Inversores

Descripción

Los inversores convierten la corriente continua (CC) generada por los paneles solares en corriente alterna (CA), utilizable por la mayoría de los equipos eléctricos.

Especificaciones Técnicas

- Tipo de Inversor: Inversores híbridos que pueden gestionar la energía de los paneles solares y de las baterías.
- Potencia Nominal: 7,5kW, ajustado según la capacidad del sistema solar instalado.
- Eficiencia: Alta eficiencia (>95%) para minimizar pérdidas.
- Funciones Adicionales: Monitoreo remoto, protección contra sobrecarga, desconexión automática en caso de fallos.

Cálculo de la Capacidad del Inversor:

Según explica (Macías, 2018), la capacidad del inversor debe calcularse en función de la potencia de entrada que recibirá el equipo, considerando también un factor de seguridad. Este factor de seguridad dependerá de las variaciones de voltaje que puedan presentarse en el diseño, garantizando que el inversor pueda operar de manera segura y eficiente bajo diferentes condiciones:

$$P_{iv} = \frac{FS * P_A}{Fp}$$

Donde:

P_{iv} = Potencia del inversor

FS = Factor de seguridad

P_A = Potencia de arreglo

Fp = Factor de potencia

De acuerdo con los cálculos previos, la potencia máxima generada por los paneles solares es de 5,32 kW. Dado que las variaciones de voltaje calculadas anteriormente son mínimas, se ha establecido un factor de seguridad equivalente a 1. Además, se ha considerado un factor de potencia de 0,8. Por lo tanto, se aplicarán estos valores para realizar el cálculo final del inversor adecuado para el sistema:

$$P_{iv} = \frac{FS * P_A}{Fp}$$

$$P_{iv} = \frac{1 * 5,32 \text{ kW}}{0,8}$$

$$P_{iv} = 6,65 \text{ kW}$$

Según los cálculos realizados se requiere un inversor con una capacidad mínima de 6.65 W para manejar los picos de demanda, entonces se seleccionó un inversor que cubre esa demanda según las especificaciones del fabricante:

Tabla 20

Características del inversor híbrido

Especificación	Detalles
Modelo	Inversor Híbrido 7,5 kW
Potencia Nominal	7500W
Eficiencia Máxima	>95%
Voltaje de Entrada (CC)	48V
Voltaje de Salida (CA)	120 voltios
Frecuencia de Salida	50/60 Hz
Dimensiones	470 x 470 x190 mm
Peso	20 kilos
Tipo de Inversor	Híbrido (CC a CA y viceversa)
Protecciones	Sobrecarga, cortocircuito, temperatura
Monitoreo	Remoto mediante app móvil
Garantía de Producto	5 años

Nota. En base a la ficha técnica del inversor emitida por el fabricante (ver **Anexo 5**), Elaboración propia.

Consideraciones de Instalación

- Ubicación:

Requisitos de Ubicación:

- Lugar Fresco y Ventilado: Los inversores generan calor durante su funcionamiento. Para evitar el sobrecalentamiento, deben instalarse en un lugar fresco y bien ventilado. Una buena ventilación permite la disipación del calor, prolongando la vida útil del inversor y asegurando un funcionamiento eficiente.

- Preferiblemente Bajo Techo: Instalar los inversores bajo techo protege contra las inclemencias del tiempo, como la lluvia, el sol directo y la humedad. Esto ayuda a mantener los componentes electrónicos en buen estado y reduce el riesgo de fallos.

Práctica de Instalación:

- Montaje en Pared: Los inversores suelen montarse en una pared vertical en una sala técnica o en un espacio dedicado dentro de la finca. La altura de montaje debe ser tal que permita un acceso fácil para el monitoreo y mantenimiento.
- Espacio de Ventilación: Dejar un espacio adecuado alrededor del inversor (al menos 30 cm de cada lado) asegura un flujo de aire adecuado y facilita la disipación del calor.

El inversor en una sala técnica de la finca, en una pared interna que no reciba luz solar directa. De esta manera, se protege el equipo de las condiciones externas y se asegura una ventilación adecuada.

Protección

Sistemas de Protección Necesarios:

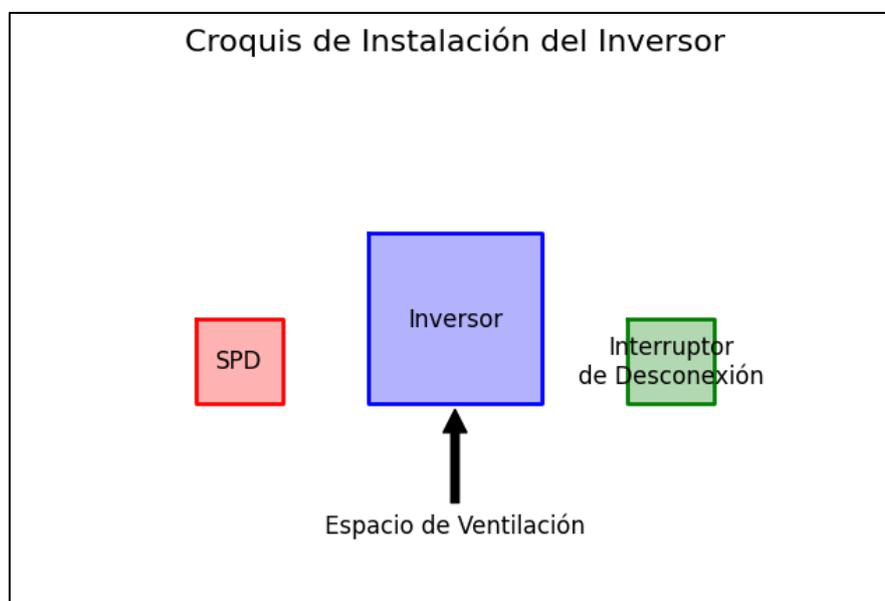
- Protección Contra Sobretensiones: Se deben instalar dispositivos de protección contra sobretensiones (SPD) para proteger el inversor de picos de voltaje que puedan ocurrir debido a rayos o fluctuaciones en la red eléctrica. Estos dispositivos desvían el exceso de voltaje, evitando daños en el inversor.
- Desconexión Rápida: Es crucial contar con un interruptor de desconexión rápida que permita apagar el sistema en caso de emergencia, mantenimiento o reparación. Este interruptor debe ser fácilmente accesible y claramente marcado para su uso inmediato.

Práctica de Instalación:

- **Dispositivos de Protección:** Instalar los dispositivos de protección contra sobretensiones en la caja de distribución eléctrica o cerca del inversor. Estos deben ser dimensionados adecuadamente para la capacidad del sistema.
- **Interruptor de Desconexión:** El interruptor de desconexión debe colocarse en una ubicación visible y accesible. Debe ser capaz de cortar rápidamente la alimentación del inversor para garantizar la seguridad del sistema y del personal.

Figura 25

Croquis instalación del inversor.



Nota: Se muestra la manera de instalación del inversor, con sus componentes de apoyo, Elaboración propia.

Se debe colocar un dispositivo de protección contra sobretensiones en la caja de distribución que alimenta al inversor, junto con un interruptor de desconexión rápida montado en la pared cerca del inversor. Esto asegura una respuesta rápida en caso de emergencia y protección continua contra fluctuaciones de voltaje.

Controladores de Carga

Descripción

Los controladores de carga regulan el flujo de energía entre los paneles solares y las baterías, protegiendo contra sobrecargas y descargas profundas.

Especificaciones Técnicas

- Tipo de Controlador: MPPT (seguimiento del punto de máxima potencia), que es más eficiente.
- Capacidad: 60A, ajustado según la corriente generada por los paneles solares.
- Funciones Adicionales: Monitorización de la salud de las baterías, desconexión automática, protección contra sobretensiones.

Tabla 21

Características del controlador de carga.

Especificación	Detalles
Modelo	Controlador de Carga MPPT 20 A.
Corriente Nominal	20 V
Voltaje de Sistema	100 V
Eficiencia Máxima	98%
Tipo de Controlador	MPPT (Seguimiento del punto de máxima potencia)
Protecciones	Sobrecarga, cortocircuito, temperatura
Dimensiones	100 x 113 x 50 mm
Peso	0,6 kg
Monitoreo	Pantalla LCD integrada
Garantía de Producto	3 años

Nota. En base a las características del controlador de carga (ver **Anexo 7**), Elaboración propia.

Consideraciones de Instalación

Requisitos de Ubicación:

Cerca de las Baterías: Los controladores de carga deben instalarse lo más cerca posible de las baterías para minimizar las pérdidas de energía que pueden ocurrir a lo largo de los cables. La proximidad reduce la resistencia y, por lo tanto, las pérdidas de energía, mejorando la eficiencia del sistema.

Acceso Fácil: La ubicación debe permitir un acceso fácil para la inspección y el mantenimiento. Esto incluye dejar espacio alrededor del controlador para la conexión y desconexión de cables, así como para la visualización de las lecturas y configuraciones en la pantalla del controlador.

Práctica de Instalación:

Montaje en Pared: Los controladores de carga suelen montarse en una pared cerca del banco de baterías. Esto facilita la gestión del cableado y permite un acceso fácil para ajustes y monitoreos.

Separación Adecuada: Asegúrese de que haya una separación adecuada entre los controladores de carga y otros componentes eléctricos para evitar interferencias y facilitar el flujo de aire.

Ventilación

Requisitos de Ventilación:

Lugar Fresco y Ventilado: Los controladores de carga generan calor durante su funcionamiento. Para evitar el sobrecalentamiento, deben instalarse en un lugar fresco y bien ventilado. Una buena ventilación permite la disipación del calor, prolongando la vida útil del controlador y asegurando un funcionamiento eficiente.

Sin Exposición Directa al Sol: Los controladores deben protegerse de la luz solar directa, ya que esto puede aumentar la temperatura de funcionamiento y reducir la eficiencia del dispositivo.

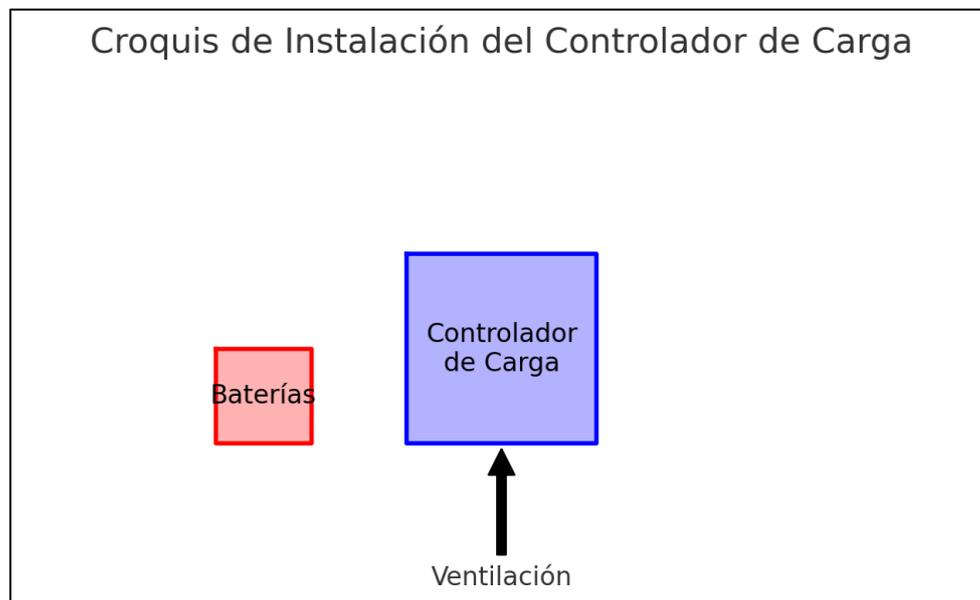
Práctica de Instalación:

Ventilación Natural: Instale los controladores en una sala o espacio con ventilación natural adecuada. Esto puede incluir ventanas o aberturas que permitan el flujo de aire.

Uso de Ventiladores: Si la ventilación natural no es suficiente, considere la instalación de ventiladores para asegurar un flujo de aire constante y eficiente alrededor de los controladores.

Figura 26

Croquis instalación del controlador de carga.



Nota: Se muestra la manera de instalación de la batería junto al controlador de carga,

Elaboración propia.

El controlador de carga está ubicado cerca de las baterías para minimizar las pérdidas de energía y facilitar la gestión del cableado. Las baterías están situadas cerca del controlador de carga para optimizar la eficiencia del sistema. Una flecha indica la importancia de la ventilación adecuada para disipar el calor generado por el controlador de carga, asegurando un funcionamiento eficiente y prolongando su vida útil.

Sistemas de Monitoreo y Control

Descripción

Los sistemas de monitoreo y control son fundamentales para asegurar el funcionamiento eficiente y seguro de un sistema de energía solar fotovoltaica. Estos sistemas permiten supervisar en tiempo real la generación de energía, el almacenamiento en baterías y el consumo, proporcionando datos vitales para la gestión del sistema. Además, son esenciales para detectar problemas a tiempo, evitando fallos y optimizando el rendimiento del sistema.

Especificaciones Técnicas

Monitoreo en Tiempo Real:

Capacidad: Los sistemas de monitoreo deben tener la capacidad de supervisar en tiempo real todos los aspectos críticos del sistema de energía solar, incluyendo la producción de energía de los paneles solares, el estado de carga de las baterías y el consumo de energía de la finca.

Sensores y Medidores: Se utilizan diversos sensores y medidores para recopilar datos precisos sobre el voltaje, la corriente y la temperatura de los componentes del sistema.

Tabla 22

Características del sistema de monitoreo.

Especificación	Detalles
Modelo	Sistema de Monitoreo en Tiempo Real
Capacidad de Monitoreo	Generación, almacenamiento y consumo en tiempo real
Conectividad	Wi-Fi, Ethernet
Interfaz de Usuario	App móvil, Pantalla LCD
Alertas y Notificaciones	Fallos, mantenimiento, bajas de energía
Dimensiones	200 x 150 x 50 mm
Peso	1 kg
Garantía de Producto	2 años

Especificación	Detalles
Capacidad de Monitoreo	Generación, almacenamiento y consumo en tiempo real

Nota. En base a la ficha técnica del sistema de monitoreo seleccionado para el sistema,

Elaboración propia.

Alertas y Notificaciones:

Sistema de Alertas: El sistema debe incluir un mecanismo de alertas y notificaciones para informar al operador sobre cualquier fallo o problema en el sistema. Estas alertas pueden ser sobre sobrecargas, bajas de energía, o la necesidad de mantenimiento.

Tipos de Notificaciones: Las notificaciones pueden enviarse a través de diferentes canales, como correos electrónicos, mensajes de texto o notificaciones push en aplicaciones móviles.

Interfaz de Usuario:

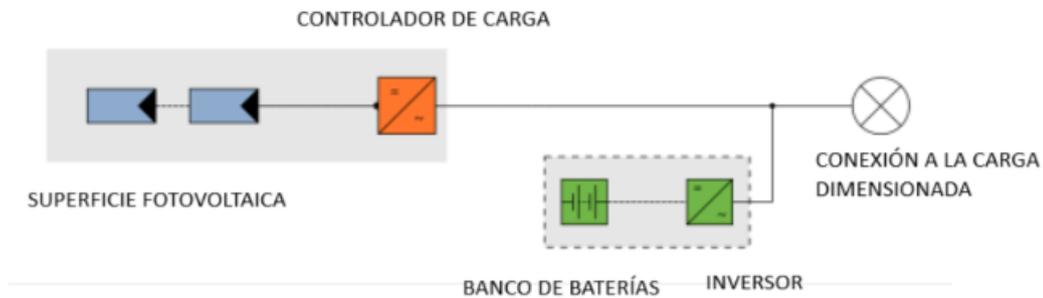
Pantallas Táctiles: Las pantallas táctiles son una opción común para los sistemas de monitoreo, proporcionando una interfaz fácil de usar que permite a los usuarios interactuar con el sistema, ver datos en tiempo real y ajustar configuraciones.

Esquema técnico del sistema propuesto

A continuación, se presenta el esquema gráfico de manera general de los componentes que constituye en sistema:

Figura 27:

Diagrama del sistema propuesto



Nota: Elementos del sistema desarrollado, Elaboración propia.

Componentes y costos.

Tabla 23

Componentes del sistema.

Componente	Especificación	Cantidad	Otros Datos
Paneles Solares	Monocristalinos, 380W, eficiencia 20%	14	Dimensiones: 2024 x 1004 mm, Peso: 22,8 kg por panel
Inversores	Híbrido, 7,5 kW, eficiencia >95%	1	Monitoreo remoto, protección contra sobrecarga
Baterías	Litio-ion, 200 Ah, ciclo de vida 6000 ciclos	14	Eficiencia de carga/descarga: 90%
Controladores de Carga	MPPT, 20A	3	Monitorización de la salud de las baterías, protección contra sobretensiones
Sistema de Monitoreo	Tiempo real, interfaz móvil, alertas	1	Conectividad a internet, protección de datos
Cables y Conectores	De alta calidad, adecuados para exterior	200 metros	Aprox. 50 conectores según necesidades del sistema
Dispositivos de Protección	Contra sobretensiones, interruptores de desconexión	5	Instalados en la caja de distribución y cerca del inversor

Sistema de Ventilación	Ventiladores, rejillas de ventilación	4	Para mantener los inversores y baterías en un lugar fresco y ventilado
Protección contra Incendios	Extintores de clase apropiada, detectores de humo	4	Ubicados en la sala de baterías y cerca de los inversores

Nota. Se muestra los detalles de cada elemento que compone el sistema, Elaboración propia.

Para estimar el presupuesto del sistema de energía solar fotovoltaica en la finca de Illolán, Pichincha, se deben considerar los precios locales de los componentes en Ecuador. A continuación, se presenta una estimación aproximada de los costos.

Tabla 24

Costos por componente.

Componente	Especificación	Cantidad	Precio Unitario (USD)	Costo Total (USD)
Paneles Solares	Monocristalinos, 380W, eficiencia 20%	14	\$250	\$3,500
Inversores	Híbrido, 7,5 kW, eficiencia >95%	1	\$1,200	\$1,200
Baterías	Litio-ion, 200 Ah, ciclo de vida 6000 ciclos	14	\$1,000	\$14,000
Controladores de Carga	MPPT, 20A	3	\$300	\$900
Sistema de Monitoreo	Tiempo real, interfaz móvil, alertas	1	\$500	\$500
Cables y Conectores	De alta calidad, adecuados para exterior	200 metros / 50 conectores	\$5 por metro / \$10 por conector	\$1,500

Dispositivos de Protección	de Contra sobretensiones, interruptores de desconexión	5	\$50	\$250
Sistema de Ventilación	de Ventiladores, rejillas de ventilación	4	\$50	\$200
Protección contra Incendios	Extintores de clase apropiada, detectores de humo	4	\$75	\$300

Nota. Se muestra de manera detallada los costos de cada componente, Elaboración propia.

Tabla 25

Resumen de Costos.

Descripción	Costo Total (USD)
Paneles Solares	\$3,500
Inversores	\$1,200
Baterías	\$14,000
Controladores de Carga	\$900
Sistema de Monitoreo	\$500
Cables y Conectores	\$1,500
Dispositivos de Protección	\$250
Sistema de Ventilación	\$200
Protección contra Incendios	\$300
Total	\$22,350

Nota. Se muestra los costos de cada elemento de manera resumida, Elaboración propia.

El análisis de costos muestra que la mayor inversión se destina a las baterías, lo cual es necesario para asegurar un suministro de energía continuo y confiable. Los paneles solares representan una parte significativa del presupuesto, reflejando su importancia en la generación y estabilidad del sistema. Los otros componentes, aunque menos costosos, son igualmente esenciales para el funcionamiento eficiente y seguro del sistema de energía solar fotovoltaica.

Resultados esperados

Con el desarrollo de este sistema de energía renovable se pretende suministrar de un servicio de energía eléctrica constante para la finca con el objetivo de que se ejecute las actividades ganaderas de una mejor manera, aprovechando las riquezas de la finca. Con la implementación de este proyecto se conseguirá que posteriormente se adquieran equipos como: ordeño mecánico, bomba agua, refrigeración para productos lácteos, cercas eléctricas, etc. Se desea abastecer de energía ininterrumpida las 24 horas del día de tal modo que, si existe cortes de luz a nivel nacional, esto no llegaría afectar a la finca ya que cuenta con un sistema eléctrico independiente, además este tipo de energía al ser renovable tiene un bajo impacto ambiental.

Por ende, se puede determinar el aprovechamiento que tendrá el sistema de energía renovable propuesto tomando en cuenta la energía extra en relación a la energía generada, como se muestra a continuación:

$$\text{Aprovechamiento} = \left(1 - \frac{\text{Energía extra}}{\text{Energía generada}}\right) * 100$$

Donde:

Aprovechamiento (%): Aprovechamiento de la energía generada en porcentaje

Energía extra: Energía extra generada

Energía generada: Energía producida por el sistema fotovoltaico

$$\text{Aprovechamiento} = \left(1 - \frac{\text{Energía extra}}{\text{Energía generada}}\right) * 100$$

$$\text{Aprovechamiento} = \left(1 - \frac{1790 \text{ W} - h}{6400 \text{ W} - h}\right) * 100$$

$$\text{Aprovechamiento} = 72,03\%$$

El porcentaje de aprovechamiento es del 72.03% de la energía, entonces eso quiere decir que el sistema cumple los requisitos necesarios de funcionamiento.

Implementación y Cronograma

La implementación del sistema de energía solar fotovoltaica en la finca de Illolán, Pichincha, se divide en varias fases claramente definidas, cada una con actividades específicas y una duración estimada. Este cronograma garantiza una instalación ordenada y eficiente, optimizando el tiempo y los recursos.

Fase 1: Preparación

Duración: 2 semanas

Actividades: La fase de preparación implica el análisis final del sitio para confirmar la viabilidad del proyecto, la adquisición de los permisos necesarios de las autoridades locales y la compra de todos los componentes del sistema. Esta fase es crucial para asegurar que todo esté en orden antes de comenzar la instalación física.

Fase 2: Instalación de Paneles y Estructura de Montaje

Duración: 3 semanas

Actividades: Durante esta fase, se instalan las estructuras de montaje y se colocan los paneles solares. Esta etapa requiere precisión para asegurar que los paneles estén orientados e inclinados correctamente, maximizando la captación de energía solar. La seguridad y la robustez de las estructuras de montaje también son esenciales para la durabilidad del sistema.

Fase 3: Instalación de Inversores y Baterías

Duración: 2 semanas

Actividades: En esta fase, se instalan los inversores y las baterías, incluyendo los sistemas de protección necesarios. Los inversores son cruciales para convertir la corriente continua (CC) generada por los paneles solares en corriente alterna (CA), utilizada por la

mayoría de los dispositivos eléctricos. Las baterías aseguran que haya un suministro continuo de energía, incluso durante la noche o en días nublados.

Fase 4: Conexión y Configuración de Controladores de Carga

Duración: 1 semana

Actividades: Esta fase implica la conexión de los controladores de carga y su configuración inicial. Los controladores de carga regulan el flujo de energía entre los paneles solares y las baterías, protegiendo estas últimas de sobrecargas y optimizando su eficiencia.

Fase 5: Instalación de Sistemas de Monitoreo y Pruebas

Duración: 1 semana

Actividades: Se instala el sistema de monitoreo y se realizan pruebas de funcionamiento. Este sistema permite supervisar en tiempo real la generación, almacenamiento y consumo de energía, proporcionando datos vitales para la gestión del sistema y la detección de posibles problemas.

Fase 6: Capacitación y Entrega

Duración: 1 semana

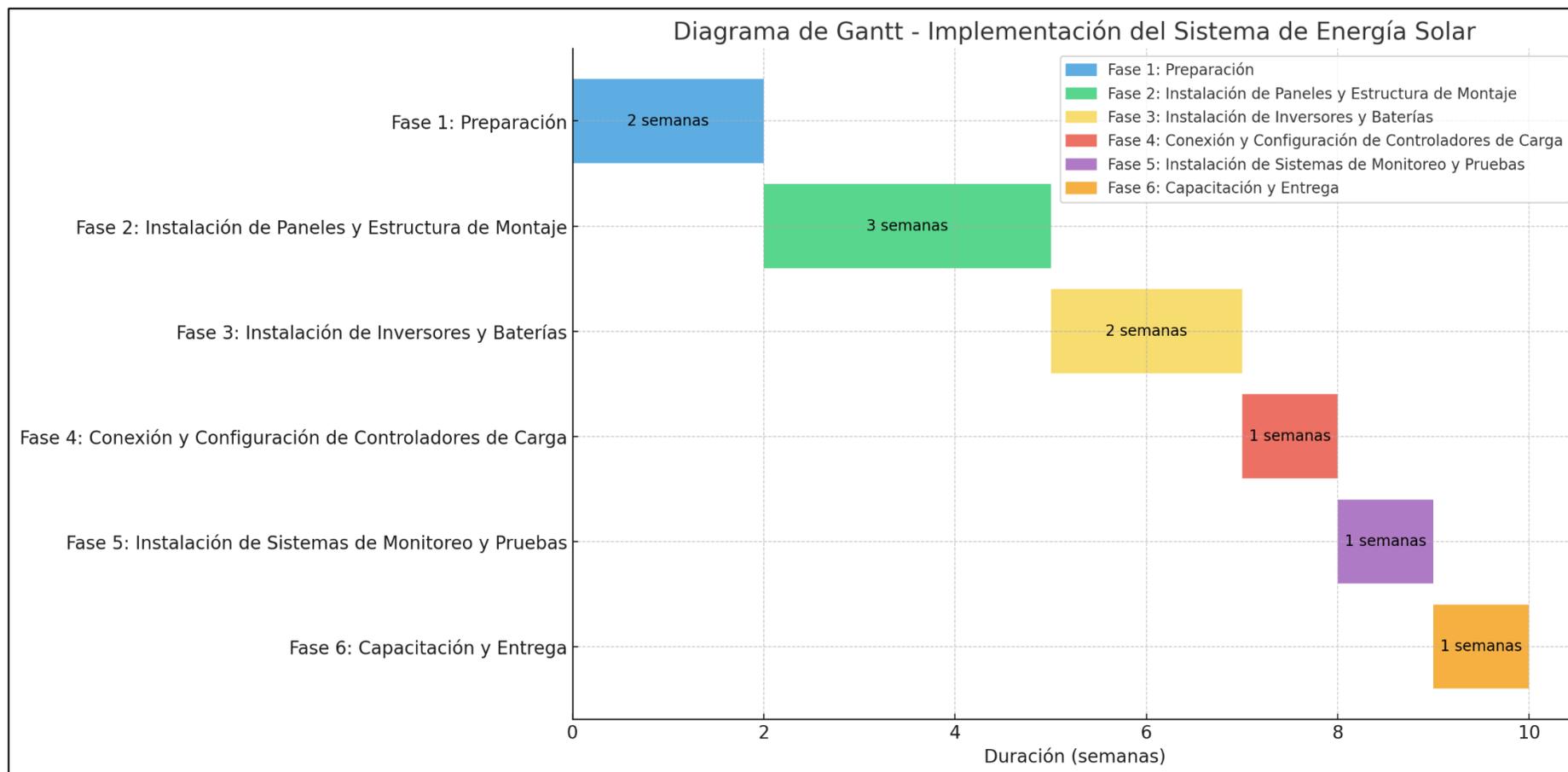
Actividades: En la fase final, se capacita al personal de la finca en el uso y mantenimiento del sistema de energía solar. Esta capacitación es fundamental para asegurar que el sistema funcione de manera óptima y se mantenga correctamente. Finalmente, se realiza la entrega formal del sistema.

El cronograma está diseñado para garantizar una implementación eficiente y efectiva del sistema de energía solar fotovoltaica. La fase de preparación establece una base sólida para el proyecto, asegurando que todos los permisos y componentes estén listos antes de comenzar la instalación. La instalación de los paneles y las estructuras de montaje es la fase más prolongada, reflejando la importancia de una instalación precisa y segura. La conexión y

configuración de los componentes eléctricos, así como la instalación de los sistemas de monitoreo, aseguran que el sistema funcione correctamente y sea fácil de gestionar. Finalmente, la capacitación del personal y la entrega del sistema aseguran que el proyecto tenga un impacto duradero y beneficioso para la finca.

Figura 28

Cronograma.



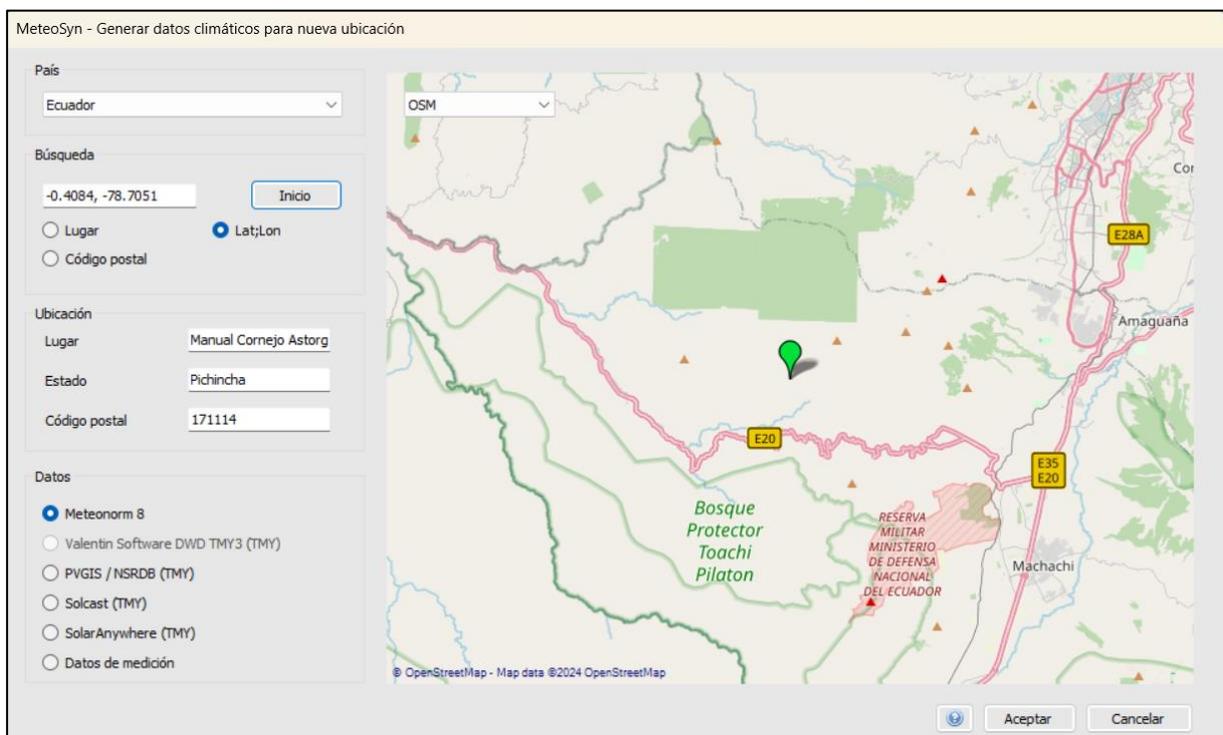
Nota: Se muestra el cronograma para la implementación del sistema propuesto, Elaboración propia.

Simulación del sistema fotovoltaico propuesto

La simulación del sistema de energía renovable se desarrolló mediante la ayuda de un software el cual nos permite añadir las condiciones y variables necesarias para diseñar el sistema, para esta simulación se empleó el software PV*SOL premium 2024 versión de prueba, a continuación, se detalla los pasos ejecutados:

Figura 29

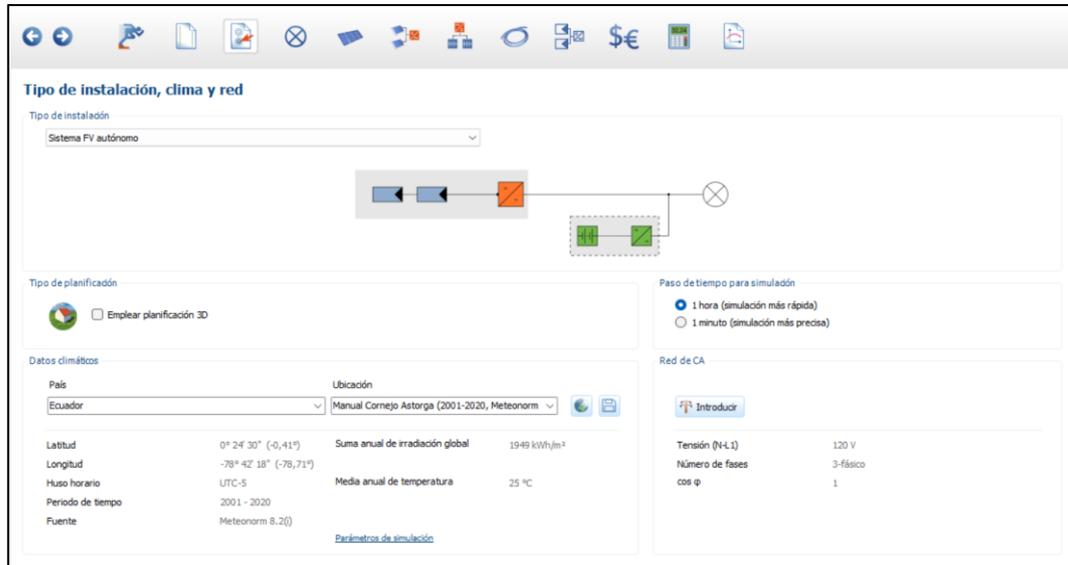
Generación de datos climáticos para nueva ubicación



Nota: Se crean los datos climáticos del lugar de estudio mediante coordenadas de latitud y longitud, Elaborado por el autor en PV*SOL.

Figura 30

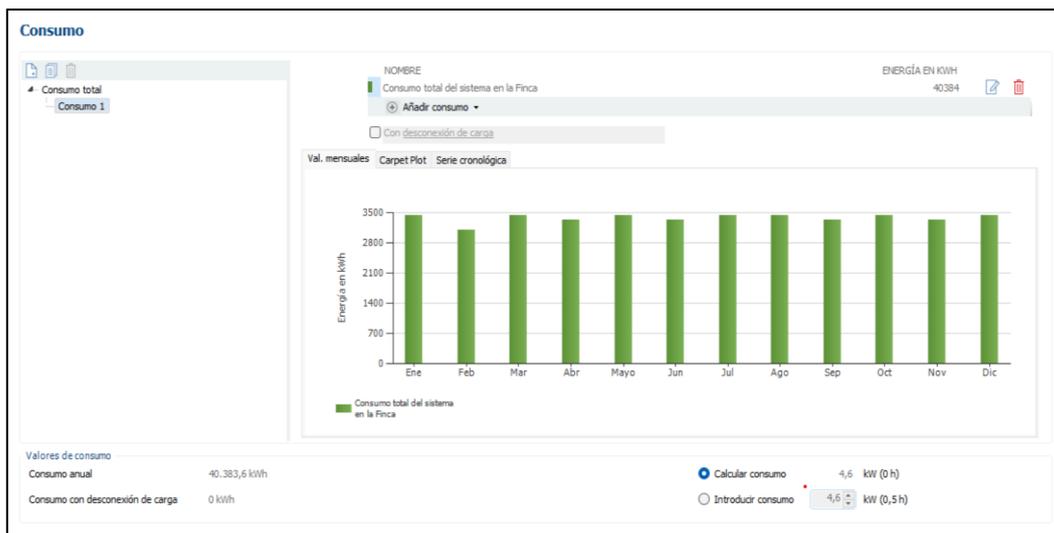
Tipo de instalación, clima y red.



Nota: Se selecciona el país y la ubicación del lugar donde se realiza el estudio, Elaborado por el autor en PV*SOL.

Figura 31

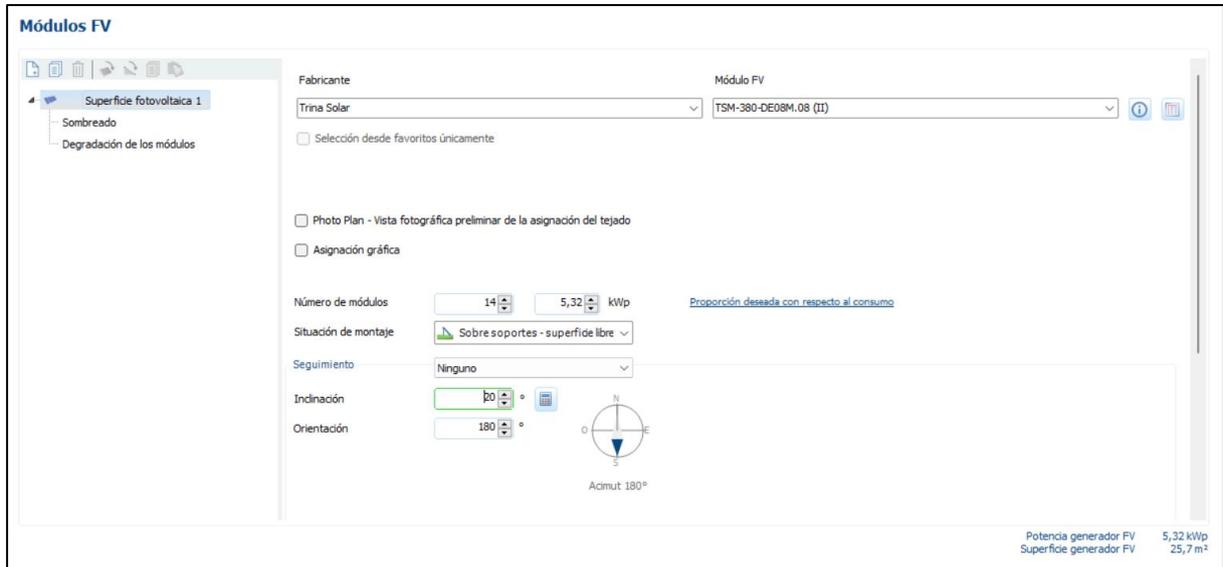
Consumo del sistema propuesto



Nota: El consumo total del sistema propuesto se obtuvo mediante el consumo individual de los artefactos y equipos que utilizarán energía eléctrica en la finca, Elaboración propia.

Figura 32

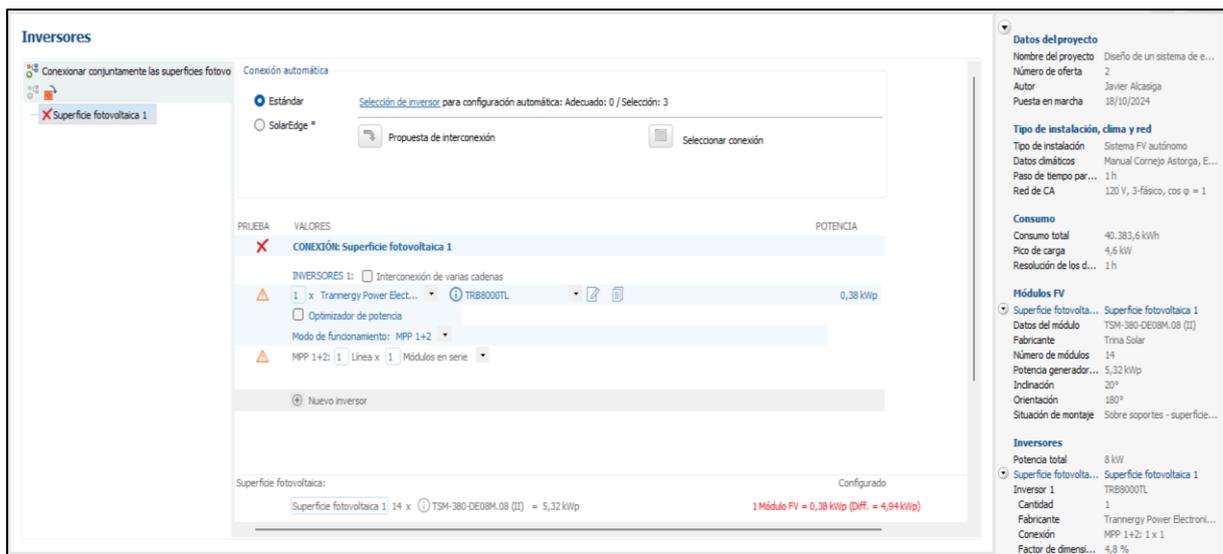
Superficie fotovoltaica



Nota: Se introdujo la cantidad de paneles solares calculados en función a la cantidad de energía necesaria para la finca, como se muestra en la **Tabla 23**, Elaboración propia.

Figura 33

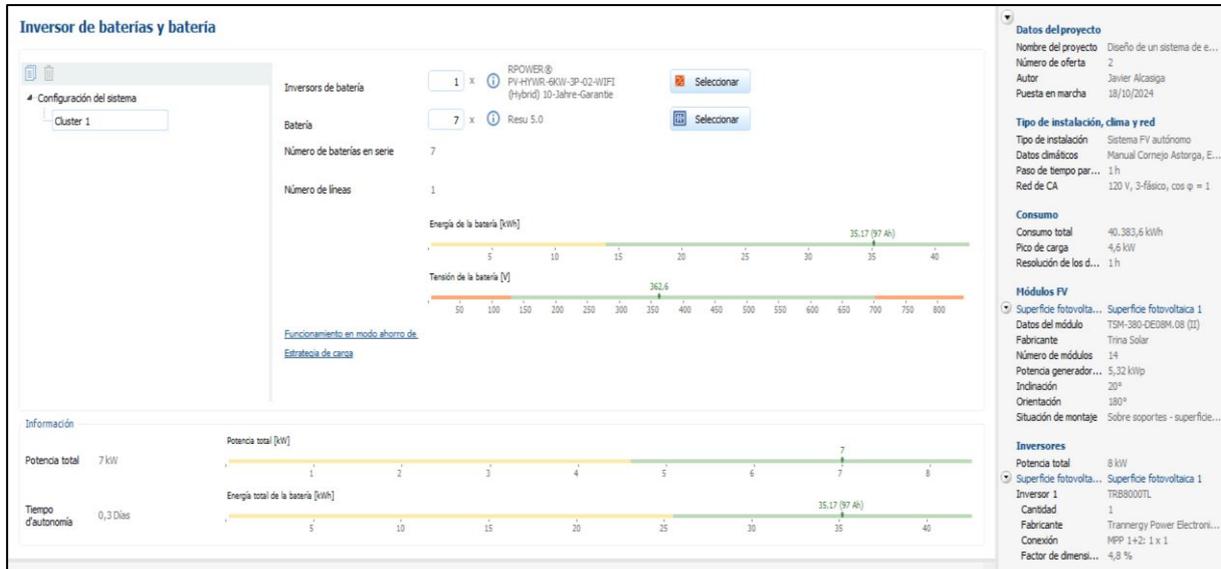
Selección del Inversor.



Nota: Se selecciona el tipo de inversor correspondiente con el sistema fotovoltaico, Elaboración propia.

Figura 34

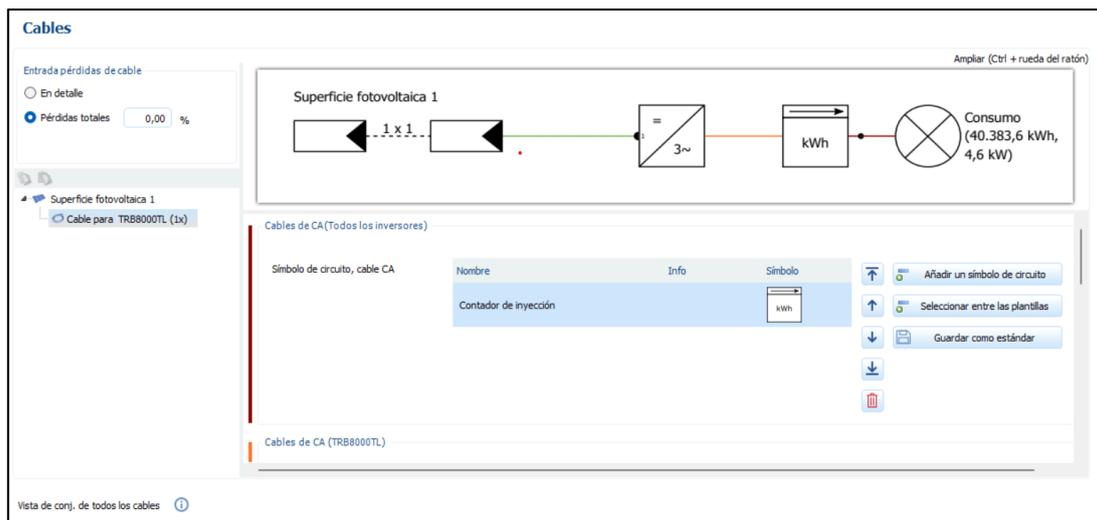
Selección del sistema de baterías de almacenamiento.



Nota: Se selecciona el tipo y la cantidad de baterías de almacenamiento necesarias para el sistema propuesto, Elaboración propia.

Figura 35

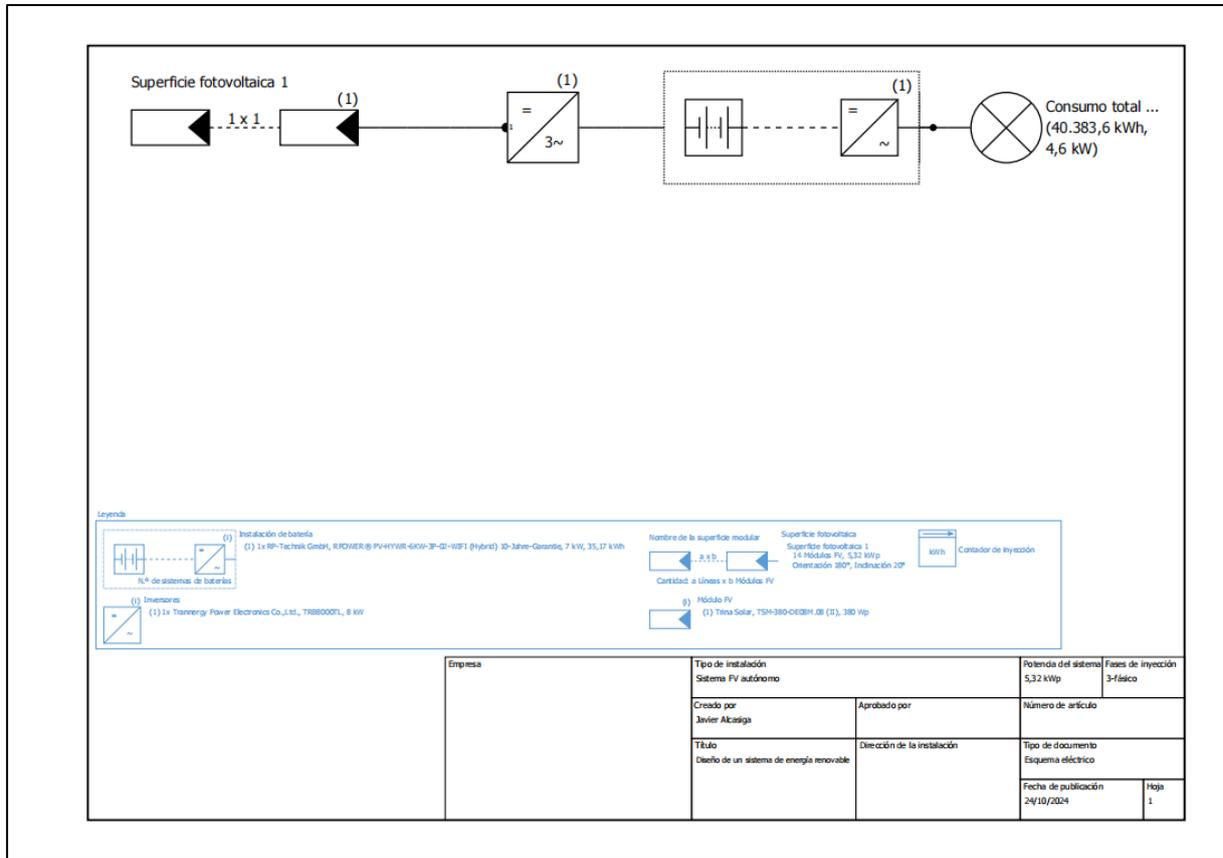
Selección del cableado para el sistema



Nota: En base de a los paneles solares, inversor y baterías seleccionados, el programa proporciona el tipo de cable más adecuado para la conexión de los componentes, Elaboración propia.

Figura 36

Planos y listado de piezas



Nota: Plano elaborado del sistema fotovoltaico según las características requeridas para que el sistema funcione de manera óptima, Elaboración propia.

CAPÍTULO IV CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

- Se identifica la carga eléctrica a servir en la finca ver **Tabla 6**. A partir de estos datos se determina la capacidad total requerida por la fuente de alimentación, correspondiente a 4610 W. Con este valor se asegura que el sistema diseñado pueda satisfacer plenamente la demanda energética del servicio. La precisión en este levantamiento fue crucial para dimensionar correctamente el sistema de energía solar fotovoltaica.
- Se realiza una evaluación de las fuentes de alternativas de energía (eólica, hidráulica, biomasa y solar), empleando la matriz de priorización de Holmes, la cual permite realizar una evaluación de las principales fuentes alternativas de energía renovable, tomando en consideración 4 criterios: viabilidad técnica, situación geográfica, costos de implementación y eficiencia energética. Resultando la fuente de energía seleccionada la correspondiente a la energía solar fotovoltaica, con una puntuación de **0,37**.
- La propuesta correspondiente al sistema de abastecimiento eléctrico por fuentes renovables está basada en un sistema de paneles solares fotovoltaicos. El diseño técnico del mismo incluye las especificaciones de todos los componentes necesarios, tales como: paneles solares, inversores, baterías, controladores de carga, sistemas de monitoreo y dispositivos de protección. Ver **Tabla 23**. Además, se desarrolla un cronograma de implementación del mismo, asegurando una instalación ordenada y eficiente. El diseño no solo garantiza el abastecimiento eléctrico de la finca, sino que también facilita el mantenimiento y la gestión del sistema a largo plazo.

Recomendaciones

- Es importante para la organización la implementación del presente proyecto observando un cumplimiento estricto de todos los parámetros de diseño, con la finalidad de poder satisfacer la demanda eléctrica instalada en la finca. Garantizando de esta forma un servicio eléctrico dentro de los parámetros de calidad.
- Se debe enfatizar la importancia del monitoreo y mantenimiento regular del sistema. Es crucial realizar inspecciones mensuales para asegurar el buen funcionamiento de todos los componentes, como paneles solares, inversores, baterías, controladores de carga y sistemas de protección. Además, los paneles solares deben limpiarse cada tres meses, o con mayor frecuencia en áreas con alta acumulación de polvo, para mantener su eficiencia. Las baterías también requieren revisiones periódicas para detectar signos de deterioro y seguir las recomendaciones del fabricante para su mantenimiento adecuado.
- Se considera de suma importancia la implementación de un programa de capacitación continua al personal que trabaja en el servicio; referente al uso y mantenimiento del sistema de energía solar, así como en el manejo de situaciones de emergencia, como cortes de energía o fallos en el sistema.

BIBLIOGRAFÍA

- Arias, D. G. (2022). Estado del arte: incentivos y estrategias para la penetración de energía renovable. . *Revista Técnica energía*, 91-103.
- ATLAS, G. S. (2024). Obtenido de <https://globalsolaratlas.info/map?c=-0.4084,-78.7051,11&s=-0.4084,-78.7051&m=site>
- Bertrand, T. (2020). Estado Actual de la Energía Hidroeléctrica en Honduras. *Revista de la Escuela de Física*, 60-79.
- Blanco, N. (2021). *Generación de energía eléctrica en sistemas de generación distribuida de pequeña escala usando bioenergía en Nicaragua*.
- Blanco, P. (2020). Medidas para la implementación del uso racional y eficiente de la energía: caso de las energías renovables en Colombia, estado del arte, avances y retos. *Revista Jurídica*, 43-71.
- Castaño, M. (2023). Análisis de los incentivos económicos en la capacidad instalada de energía solar fotovoltaica en Colombia. . *Lecturas de Economía*, 23-64.
- Chapi, D. (2024). *Diseño de un sistema de respaldo alimentado por fuentes renovables de energía para la operación de una Industria Textil en la ciudad de Quito*. Quito: Universidad Indoamérica.
- Clementi, L. (2021). Energía eólica distribuida: oportunidades y desafíos en Argentina. *Letras Verdes*, . *Revista Latinoamericana de Estudios Socioambientales*, 48-64.
- Dumortier, J. R. (2023). Celebrating 15 Years of BioEnergy Research: a Journey Towards Sustainable Solutions. *BioEnergy Research*, 1951-1952.
- Enerdata. (2024). *Consumo energético total*. Obtenido de <https://datos.enerdata.net/energia-total/datos-consumo-internacional.html>
- Espejo, C. &. (2020). La producción de electricidad con energía solar fotovoltaica en España en el siglo XXI. . *Revista de Estudios Andaluces*, 66-93.
- Halkos, G. (2020). Reviewing usage, potentials, and limitations of renewable energy sources. . *Energies*, 33-36.
- Hernández, M. R. (2022). Análisis DOFA para la evaluación del potencial de energía eólica en Colombia. . *El reventón energético.*, 45-56.
- Impram, S. N. (2020). Challenges of renewable energy penetration on power system flexibility: A survey. . *Energy Strategy Reviews*, 12-13.
- Indoamérica, U. (2023). *Actualización de las líneas de investigación*. Quito: Universidad Indoamérica.
- Jia, S. N. (2023). . Advantages and disadvantages of renewable energy-oil-environmental pollution-from the point of view of nanoscience. *Advances in concrete construction*, 69-78.

- Macías, R. (2018). *Análisis de las alternativas energéticas para el servicio eléctrico del Centro Histórico de la ciudad de Quito, y su incidencia en la eficiencia energética*. Quito: Universidad Indoamérica.
- Mahzarnia, M. M. (2020). A review of the measures to enhance power systems resilience. *IEEE Systems Journal*, 4059-4070.
- Maps, G. (2024). Obtenido de https://www.google.es/maps/@-0.4265584,-78.720083,6976m/data=!3m1!1e3?entry=tту&g_ep=EgoyMDI0MTAxNi4wIKXMDSoASAFQAw%3D%3D
- Maradin, D. (2021). Advantages and disadvantages of renewable energy sources utilization. *International Journal of Energy Economics and Policy*, 176-183.
- Marks, R. B. (2020). The importance of renewable energy sources in Poland's energy mix. *Energies*, 12-19.
- Mbungu, T. N. (2020). An overview of renewable energy resources and grid integration for commercial building applications. *Journal of Energy Storage*, 14-16.
- Moriarty, P. H. (2021). The limits of renewable energy. In *Switching Off: Meeting Our Energy Needs in A Constrained Future*. Singapore: Springer Singapore., 34-35.
- Muradin, M. (2020). The identification of hotspots in the bioenergy production chain. *Energies*, 57-59.
- Naciones Unidas . (2024). *Acción del Clima*. Obtenido de <https://www.un.org/es/climatechange/raising-ambition/renewable-energy>
- Orozco, N. (2021). Generación de energía eléctrica en sistemas de generación distribuida de pequeña escala usando bioenergía en Nicaragua. *El reventón energético*, 21-31.
- Pereira, M. (2022). Impactos ambientales de sistemas de energía solar fotovoltaica: una revisión de análisis de ciclo de vida y otros estudios. *Revista EIA*, 24.-25.
- Rayssa. (22 de agosto de 2022). *¿Son Los Paneles Monocristalinos Lo Que Necesitan?* Obtenido de [www.rayssa.:](http://www.rayssa.cl/son-los-paneles-monocristalinos-lo-que-necesitan/) <https://www.rayssa.cl/son-los-paneles-monocristalinos-lo-que-necesitan/>
- Rivera, D. D. (2021). Transición energética, innovación y usos directos de energía geotérmica en México: un análisis de modelado temático. *Problemas del desarrollo*, 115-141.
- Ruiz, C. (2024). ZPF para arreglo de proyección de onda: ϕ -LFSR en modelado $F_p[x]/f(x)$ de sistemas de energías renovables. *Revista de la Universidad del Zulia*, 281-305.
- Siksnylyte, I. Z. (2020). Multi-criteria decision-making (MCDM) for the assessment of renewable energy technologies in a household: A review. *Energies*, 1164.-1165.
- Silva, S. (2024). Una perspectiva del desarrollo hidroeléctrico en Ecuador: pasado, presente y futuro. *Revista de Ciencias de la Vida*, 63-77.
- Sosa, R. (2022). Energías renovables, PIB, mercados financieros e investigación: la experiencia de América latina. 2000-2019. *Revista Mexicana de Economía y Finanzas Nueva Época REMEF*, 791.-793.

- Topon-Visarrea, B. Z. (2021). Renewable Energy System Design for Electric Power Generation on Urban Historical Heritage Places in Ecuador. *SPRINGER*, 600-612.
- Torres, K. T. (2021). Microgeneración de energía eólica en un entorno boscoso en Costa Rica: estudio de caso. . *Revista Tecnología en Marcha*,, 61-69.
- Urbano, A. M. (2021). Otto Warburg: The journey towards the seminal discovery of tumor cell bioenergetic reprogramming. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-Molecular Basis of Disease*, 17-21.
- Zambrano, E. (2023). *Diseño de un sistema de respaldo por energías renovables para la operación de una central hidroeléctrica, ubicada en el cantón Pujilí provincia de Cotopaxi*. Quito, Ecuador : Universidad Indoamérica.

ANEXOS

Anexo 1. Entrevista al Propietario de la Finca en Illolán, Pichincha

Entrevistador:

Nos gustaría conocer más sobre los desafíos que enfrenta su finca en Illolán. Comencemos hablando sobre el suministro eléctrico. ¿Podría explicarnos la situación actual y cómo afecta esto a sus operaciones?

Propietario:

Uno de los problemas que enfrentamos es la falta de electricidad. Debido a la ubicación de nuestra finca, alejada de la ciudad, no contamos con una red eléctrica cercana. Esta situación nos obliga a realizar actividades sin energía eléctrica. La ausencia de electricidad limita nuestras capacidades operativas y afecta directamente nuestra productividad.

Entrevistador:

Entiendo. Además de la falta de electricidad, ¿qué otros problemas relacionados con la infraestructura y la gestión del ganado enfrenta su finca?

Propietario:

Otro problema es la construcción de las cercas perimetrales. Actualmente, utilizamos alambre de púas, pero el ganado no respeta estas barreras y a menudo cruza hacia las fincas vecinas. Esto provoca pérdida de dinero debido a la pérdida o muerte de ganado.

Entrevistador:

¿Podría detallarnos las dificultades adicionales relacionadas con la topografía del terreno y cómo afectan a su ganado?

Propietario:

Cada mes, aproximadamente dos cabezas de ganado mueren debido a caídas en la quebrada que bordea la finca. Esto no solo representa una pérdida económica considerable, sino también un riesgo de seguridad significativo. El terreno hace que el ganado esté en constante peligro, especialmente cuando descienden a la quebrada para tomar agua. La falta de acceso seguro al agua es un problema grave.

Entrevistador:

¿Cuáles son las principales preocupaciones en este aspecto?

Propietario:

Las muertes en el ganado han aumentado debido a la necesidad de bajar a un río para tomar agua, sumado al estado del terreno. Esto provoca caídas frecuentes y muertes. Es importante realizar acciones que mejoren la accesibilidad y seguridad para que el ganado pueda tomar agua adecuadamente.

Entrevistador:

También mencionó que el proceso de ordeño en su finca se lleva a cabo de manera manual.

¿Qué impacto tiene esto en sus operaciones?

Propietario:

El ordeño manual resulta en demoras significativas. Con la electricidad se puede aumentar la velocidad del proceso y garantizar una mayor productividad. Sin un sistema eléctrico, nuestro trabajo se ven severamente limitado.

Entrevistador:

¿Cómo afecta la falta de electricidad a las condiciones de vida en la finca y los costos operativos diarios?

Propietario:

La falta de electricidad hace que las dos casas de campo en la finca sean difíciles de vivir. Esto nos obliga a movernos diariamente, lo genera gastos diarios solo en transporte. Estos costos adicionales afectan más la economía.

Entrevistador:

Gracias por compartir estos detalles.

Anexo 2. Reporte de radiación solar generada por Global Solar Atlas

GLOBAL SOLAR ATLAS

BY WORLD BANK GROUP

Manuel Cornejo Astorga (Tandapi)

-00.4084°, -078.7051°

Manuel Cornejo Astorga (Tandapi), Pichincha, Ecuador

Time zone: UTC-05, America/Guayaquil [ECT]

Report generated: 18 Oct 2024

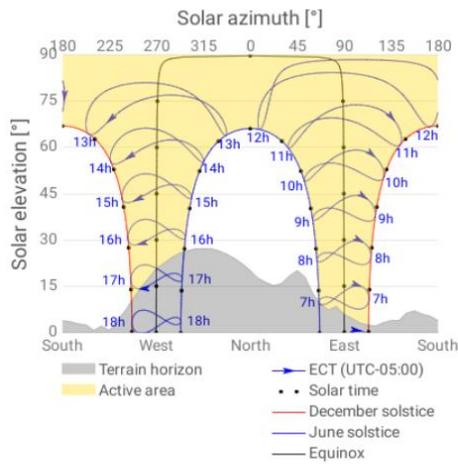
SITE INFO

Map data		Per year
Specific photovoltaic power output	PVOUT specific	1197.6 kWh/kWp
Direct normal irradiation	DNI	956.8 kWh/m ²
Global horizontal irradiation	GHI	1450.4 kWh/m ²
Diffuse horizontal irradiation	DIF	821.0 kWh/m ²
Global tilted irradiation at optimum angle	GTI opta	1448.8 kWh/m ²
Optimum tilt of PV modules	OPTA	4 / 0 °
Air temperature	TEMP	12.9 °C
Terrain elevation	ELE	N/A

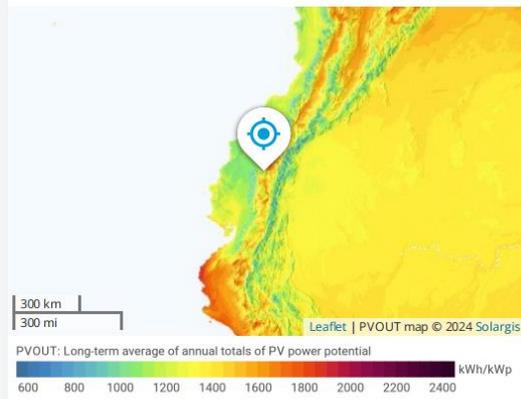
Map



Horizon and sunpath



PVOUT map



Anexo 3. Informe mensual de irradiación solar de PVGIS



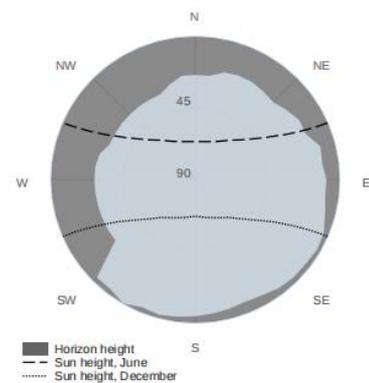
PVGIS geo-temporal irradiation database :

Provided inputs:
 Latitude/Longitude: -0.408 , -78.705
 Elevation: 2694
 Horizon: Calculated
 Database used: PVGIS-NSRDB
 Start year: 2005
 End year: 2005

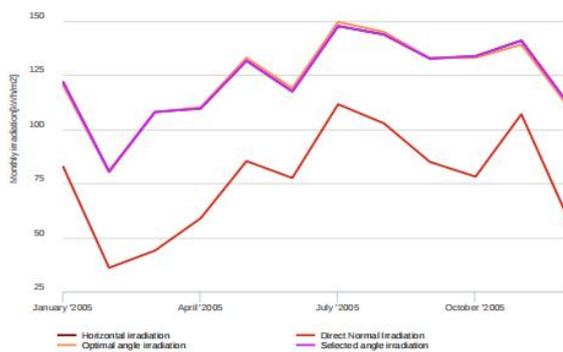
Variables included in this report:

Global horizontal irradiation: Yes
 Global irradiation optimum angle: Yes
 Global irradiation at angle 0°: Yes
 Global irradiation at angle: Yes
 Diffuse/global ratio: Yes
 Average temperature: Yes

Outline of horizon at chosen location:



Monthly solar irradiation estimates



Global horizontal irradiation		Global irradiation optimum angle		Global irradiation at angle 0°		Direct Normal Irradiation	
Month	2005	Month	2005	Month	2005	Month	2005
January	121.48	January	119.96	January	121.48	January	82.5
February	80.35	February	79.93	February	80.35	February	35.89
March	107.79	March	107.71	March	107.79	March	43.83
April	109.48	April	109.99	April	109.48	April	58.75
May	131.49	May	132.83	May	131.49	May	85.14
June	117.3	June	118.79	June	117.3	June	77.35
July	147.47	July	149.39	July	147.47	July	111.39
August	143.58	August	144.78	August	143.58	August	102.57
September	132.49	September	132.67	September	132.49	September	84.8
October	133.55	October	132.88	October	133.55	October	77.96
November	140.77	November	138.9	November	140.77	November	106.81
December	112.23	December	110.99	December	112.23	December	59.68

The European Commission maintains this website to enhance public access to information about its initiatives and European Union policies in general. Our goal is to keep this information timely and accurate. If errors are brought to our attention, we will try to correct them. However, the Commission accepts no responsibility or liability whatsoever with regard to the information on this site.

It is our goal to minimize disruption caused by technical errors. However, some data or information on this site may have been created or sourced in this or other formats that are not error-free and we cannot guarantee that our service will not be interrupted or otherwise affected by such problems. The Commission accepts no responsibility with regard to such problems incurred as a result of using this site or any links to external sites.

For more information, please visit https://ec.europa.eu/info/legal-notice_en

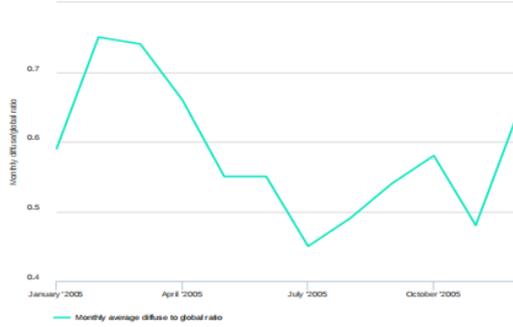
Joint
Research
Centre

PVGIS ©Union Européenne, 2001-2024.

Reproduction is authorised, provided the source is acknowledged, save where otherwise stated.

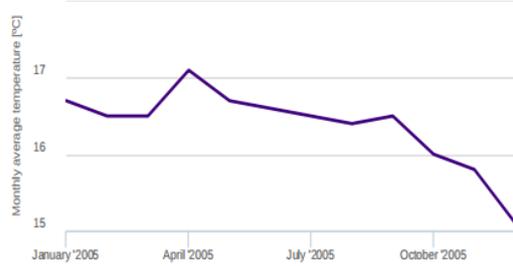
Report generated on 2024/10/16

Monthly average diffuse to global ratio



Month	2005
January	0.59
February	0.75
March	0.74
April	0.66
May	0.55
June	0.55
July	0.45
August	0.49
September	0.54
October	0.58
November	0.48
December	0.64

Monthly average temperature



Month	2005
January	16.7
February	16.5
March	16.5
April	17.1
May	16.7
June	16.6
July	16.5
August	16.4
September	16.5
October	16
November	15.8
December	15.1

— Monthly average temperature

The European Commission maintains this website to enhance public access to information about its initiatives and European Union policies in general. Our goal is to keep this information timely and accurate. If errors are brought to our attention, we will try to correct them. However, the Commission accepts no responsibility or liability whatsoever with regard to the information on this site.

It is our goal to minimise disruption caused by technical errors. However, some data or information on this site may have been created or structured in files or formats that are not error-free and we cannot guarantee that our service will not be interrupted or otherwise affected by such problems. The Commission accepts no responsibility with regard to such problems incurred as a result of using this site or any linked external sites.

For more information, please visit https://ec.europa.eu/info/legal/notice_en

Joint
Research
Centre

PVGIS ©Union Européenne, 2001-2024.

Reproduction is authorised, provided the source is acknowledged, save where otherwise stated.

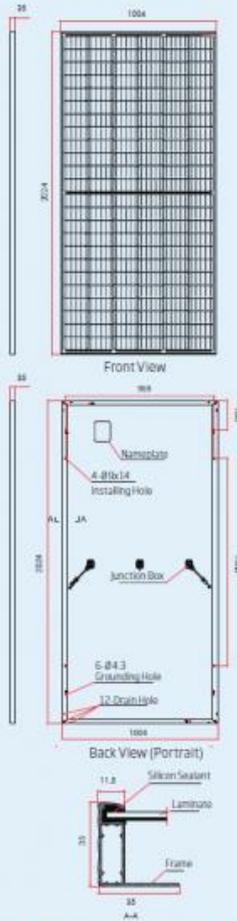
Report generated on 2024/10/16

Anexo 4. Fichas técnicas de los paneles solares

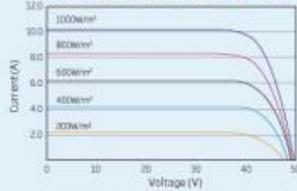
TALLMAX^M

TSM-DE15H(II)

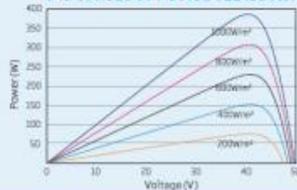
**DIMENSIONS OF PV MODULE
TSM-DE15H(II) (unit: mm)**



I-V CURVES OF PV MODULE (390W)



P-V CURVES OF PV MODULE (390W)



ELECTRICAL DATA @ STC	TSM-380 DE15H(II)	TSM-385 DE15H(II)	TSM-390 DE15H(II)	TSM-395 DE15H(II)	TSM-400 DE15H(II)
Peak Power Watts- P_{MAX} (Wp)*	380	385	390	395	400
Power Output Tolerance- P_{MAX} (W)	0/+5	0/+5	0/+5	0/+5	0/+5
Maximum Power Voltage- U_{MPV} (V)	39.6	40.1	40.5	40.8	41.1
Maximum Power Current- I_{MPV} (A)	9.59	9.61	9.64	9.69	9.74
Open Circuit Voltage- U_{OC} (V)	48.1	48.5	49.7	50.1	50.4
Short Circuit Current- I_{SC} (A)	9.99	10.03	10.08	10.13	10.18
Module Efficiency η_m (%)	18.7	18.9	19.2	19.4	19.7

STC: Irradiance 1000 W/m², Cell Temperature 25°C, Air Mass AML5
* Measuring tolerance: ±3%

ELECTRICAL DATA @ NMOT	TSM-380 DE15H(II)	TSM-385 DE15H(II)	TSM-390 DE15H(II)	TSM-395 DE15H(II)	TSM-400 DE15H(II)
Maximum Power- P_{MAX} (Wp)	287	291	295	298	302
Maximum Power Voltage- U_{MPV} (V)	37.4	37.9	38.4	38.7	38.9
Maximum Power Current- I_{MPV} (A)	7.66	7.67	7.68	7.71	7.76
Open Circuit Voltage- U_{OC} (V)	44.4	45.6	46.8	47.2	47.4
Short Circuit Current- I_{SC} (A)	8.05	8.09	8.13	8.17	8.21

NMOT: Irradiance 800 W/m², Ambient Temperature 20°C, Wind Speed 1 m/s.

MECHANICAL DATA

Solar Cells	Monocrystalline
Cell Orientation	144 cells (6 x 24)
Module Dimensions	2024 x 1004 x 35 mm
Weight	22.8 kg
Glass	3.2 mm, High Transmission, AR Coated Heat Strengthened Glass
Encapsulant Material	EVA
Backsheet	White
Frame	35 mm Anodized Aluminium Alloy
J-Box	IP 6B rated
Cables	Photovoltaic Cable 4.0mm ² , Portrait: N 140mm/P 295mm, Landscape: N 1400 mm/P 1400 mm
Connector	TS4

TEMPERATURE RATINGS

NMOT (Nominal Module Operating Temperature)	41°C (±3K)
Temperature Coefficient of P_{MAX}	-0.37%/K
Temperature Coefficient of U_{OC}	-0.29%/K
Temperature Coefficient of I_{SC}	0.05%/K

MAXIMUM RATINGS

Operational Temperature	-40 to +85°C
Maximum System Voltage	1500V DC (IEC)
Max Series Fuse Rating	20 A
Snow Load	5400 Pa (3600 Pa*)
Wind Load	2400 Pa (1600 Pa*)

*design load with safety factor 1.5
(DO NOT connect Fuse in Combiner Box with two or more strings in parallel connection)

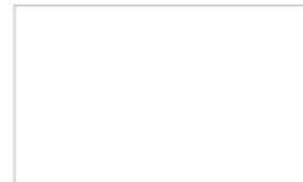
PACKAGING CONFIGURATION

Modules per box:	30 pieces
Modules per 40' container:	660 pieces

WARRANTY

10 year Product Workmanship Warranty
25 year Linear Performance Warranty

(Please refer to product warranty for details)



TSM_EN_2019_A

TrinaSolar

CAUTION: READ SAFETY AND INSTALLATION INSTRUCTIONS BEFORE USING THE PRODUCT.
© 2019 Trina Solar Limited. All rights reserved. Specifications included in this datasheet are subject to change without notice.

Anexo 5. Ficha técnica de inversor híbrido

Type	H1-3K-S2	H1-3.6K-S2	H1-4K-S2	H1-5K-S2	H1-6K-S2
Input DC					
Max.PV Array Power [Wp] @STC	4500	5400	6000	7500	9000
Max. DC Voltage [V]			600		
MPPT Voltage range [V]			90-550		
Nominal DC Voltage [V]			360		
Start Voltage [V]			120		
Max. DC Input Current [A]			12.5/12.5		
Number of MPPT			2		
DC Switch			Integrated		
Battery Parameters					
Battery type			Lithium battery		
Rated Input Voltage/Voltage Range [V]			48/42~58.5		
Max/Rated Charging Current [A]		60/60		100/100	
Battery Capacity [AH]			50-2000		
Charging Mode Control			2-stages		
Grid Parameters					
Rated Output Power [W]	3000	3680	4000	4600 ² /4999 ³ /5000	6000
Max.Output Power ¹ [VA]	3300	3680	4400	4600 ² /4999 ³ /5000	6000
Rated Output Current [A]	13.1	16.0	17.4	20/21.7/21.8	26.1
Max. Output Current [A]	14.4	16.0	19.2	24/24/24	26.1
Rated Grid Voltage/Range [V]			220,230,240/180~280		
Rated Grid Frequency/Range [Hz]			50,60/±5		
Power factor [cos φ]			0.8 leading~0.8 lagging		
Total Harmonic Distortion [THDi]			< 3%		
Feed-in			L+N+PE		
AC Output [Back-up Mode]					
Max. Output Power [VA]		3000		5000	
Peak Output Apparent Power [VA]		3600 ,10sec		6000 ,10sec	
Output Voltage [V]			220/230/240		
Output Frequency [Hz]			50/60		
Total Harmonic Distortion of Voltage			< 3%		
Efficiency					
Max. Efficiency			97.6%		
Euro Efficiency			97.0%		
Max. Battery to Load Efficiency			94.6%		
Protection					
AC Short-circuit Protection			Integrated		
Overload Protection			Integrated		
DC Overvoltage/Undervoltage Protection			Integrated		
AC Overvoltage/Undervoltage Protection			Integrated		
AC Overfrequency/Underfrequency			Integrated		
Peak-to-trough Period Setting			Integrated		
Interface					
PV Input			MC4		
Battery			Terminal Block		
Display			LCD		
Communication Mode			Wi-Fi/GPRS/Ethernet(Optional)		
General Data					
Operating Temperature Range		-25°C to +60°C [45°C to 60°C with derating]			
Cooling Method		Natural Convection			
Ambient Humidity		0-100% Non-condensing			
Altitude		4000m (> 3000m power derating)			
Noise [dBA]		<29			
Ingress Protection		IP65			
Dimensions [H*W*D] [mm]		470*470*190			
Weight [kg]		23			
Standard Warranty [Year]		5			
Applicable Standard	IEC62109-1/2,IEC61000-6-1/2/3/4,EN50438,EN50549,C10/C11,IEC62116,IEC61727,RD1699, UNE 206006,UNE 206007,CEI 0-21,AS4777.2,CQC NB/T 32004,VDE-AR-N 4105				

Anexo 6. Ficha técnica de las baterías



Lithium Series 5,1kWh

Eléctricos

Capacidad nominal	5,12 kWh
Capacidad útil	4,6 kWh
Profundidad de descarga	90%
Tensión nominal	51,2V
Rango de operación de tensión	48-57,6V
Ciclo de vida	>=6000

Físicos

Peso	52 kg
Dimensiones	475 x 446x 200 mm
Clase de protección	IP20
Tipo de batería	LiFePO ₄

Operación

Máxima corriente de carga/descarga	50 A (0,5 C)
Rango de operación de temperaturas	(-10°C)...(50°C)
Humedad	15%-85%

BMS

Consumo de energía	<2 W funcionando / <100mW en reposo
Parámetros de monitorización	Tensión del sistema, corriente, tensión y temperatura de células.
Comunicación	Compatible CAN y RS-485



BATERÍAS DE IÓN LITIO DE LARGA DURACIÓN



MÁXIMA SATISFACCIÓN AL CLIENTE



PLUG & PLAY

GARANTÍA
10 años

PRECAUCIÓN: LEA EL MANUAL DE INSTRUCCIONES E INSTALACIÓN ANTES DE USAR EL PRODUCTO.

© Copyright 2020. Todos los derechos reservados. Las especificaciones de la ficha técnica pueden ser cambiadas sin previo aviso.



Anexo 7. Ficha técnica de Controlador de Carga MPPT



BlueSolar Charge Controllers MPPT 75/10, 75/15, 100/15, 100/20 & 100/20-48V



Solar Charge Controller
MPPT 75/15



VE.Direct Bluetooth Smart
dongle needed to enable
Bluetooth

Ultra-fast Maximum Power Point Tracking (MPPT)

Especially in case of a cloudy sky, when light intensity is changing continuously, an ultra-fast MPPT controller will improve energy harvest by up to 30% compared to PWM charge controllers and by up to 10% compared to slower MPPT controllers.

Load output

Over-discharge of the battery can be prevented by connecting all loads to the load output. The load output will disconnect the load when the battery has been discharged to a pre-set voltage.

Alternatively, an intelligent battery management algorithm can be chosen: see Battery Life.

The load output is short circuit proof.

Some loads (especially inverters) can best be connected directly to the battery, and the inverter remote control connected to the load output. A special interface cable may be needed, please see the manual.

Battery Life: intelligent battery management

When a solar charge controller is not able to recharge the battery to its full capacity within one day, the result is often that the battery will continually be cycled between a 'partially charged' state and the 'end of discharge' state. This mode of operation (no regular full recharge) will destroy a lead-acid battery within weeks or months.

The Battery Life algorithm will monitor the state of charge of the battery and, if needed, day by day slightly increase the load disconnect level (i.e. disconnect the load earlier) until the harvested solar energy is sufficient to recharge the battery to nearly the full 100%. From that point onwards the load disconnect level will be modulated so that a nearly 100% recharge is achieved about once every week.

Programmable battery charge algorithm

See the software section on our website for details

Day/night timing and light dimming option

See the software section on our website for details

Programming, real-time data and history display options

- Color Control GX or other GX devices: see the **Venus** documents on our website.
- A smartphone or other Bluetooth-enabled device: VE.Direct Bluetooth Smart dongle needed.

BlueSolar Charge Controller	MPPT 75/10	MPPT 75/15	MPPT 100/15	MPPT 100/20	MPPT 100/20-48V
Battery voltage (auto select)	12/24V				12/24/48V
Rated charge current	10A	15A	15A	20A	20A
Nominal PV power, 12V 1a,b)	145W	220W	220W	290W	290W
Nominal PV power, 24V 1a,b)	290W	440W	440W	580W	580W
Nominal PV power, 48V 1a,b)	n. a.	n. a.	n. a.	n. a.	1100W
Max. PV short circuit current 2)	13A	15A	15A	20A	20A
Automatic load disconnect	Yes				
Max. PV open circuit voltage	75V		100V		
Peak efficiency	98%				
Self-consumption	12V: 25 mA 24V: 15 mA		25 / 15 / 10 mA		
Charge voltage 'absorption'	14,4V / 28,8V (adjustable)				14,4V / 28,8V / 57,6V (adj.)
Charge voltage 'float'	13,8V / 27,6V (adjustable)				13,8V / 27,6V / 55,2V (adj.)
Charge algorithm	multi-stage adaptive				
Temperature compensation	-16 mV / °C resp. -32 mV / °C				
Max. continuous load current	15A		20A		20A / 20A / 1A
Low voltage load disconnect	11,1V / 22,2V / 44,4V or 11,8V / 23,6V / 47,2V or Battery Life algorithm				
Low voltage load reconnect	13,1V / 26,2V / 52,4V or 14V / 28V / 56V or Battery Life algorithm				
Protection	Output short circuit / Over temperature				
Operating temperature	-30 to +60°C (full rated output up to 40°C)				
Humidity	95%, non-condensing				
Data communication port	VE.Direct (see the data communication white paper on our website)				
ENCLOSURE					
Colour	Blue (RAL 5012)				
Power terminals	6 mm ² / AWG10				
Protection category	IP43 (electronic components), IP22 (connection area)				
Weight	0,5 kg		0,6 kg		0,65 kg
Dimensions (h x w x d)	100 x 113 x 40 mm		100 x 113 x 50 mm		100 x 113 x 60 mm
STANDARDS					
Safety	EN/IEC 62109-1, UL 1741, CSA C22.2				

1a) If more PV power is connected, the controller will limit input power.
1b) The PV voltage must exceed Vbat + 5V for the controller to start.
Thereafter the minimum PV voltage is Vbat + 1V
2) A PV array with a higher short circuit current may damage the controller.

Anexo 8. Factor de corrección de temperatura

<i>Temperatura (°C)</i>	<i>Factor de corrección de temperatura (F. T.)</i>
0-30	1,0
31-40	0,82
41-45	0,71
46-50	0,58
51-55	0,41

Anexo 9. Factor de corrección en base a la cantidad de conductores en tubería

<i>Número de conductores a través de una misma tubería</i>	<i>F. C.</i>
1 a 3	1,0
4 a 6	0,8
7 a 24	0,7
25 a 42	0,6
43 y más	0,5

Anexo 10. Sección de conductores según la corriente permisible

<i>Sección transversal de conductor</i>		<i>Tipos de aislamientos: Goma tipo R; tipo RW; tipo RU; tipo RUW; tipo RH-RW; termoplástico tipo T; tipo TW</i>
<i>mm²</i>	<i>no. en norma AWG*</i>	
		ampere
2.1	14	15
3.3	12	20
5.2	10	30
8.4	8	40
13.3	6	55
21.2	4	70
26.6	3	80
33.6	2	95
2.4	1	110
53.1	0	125
67.7	00	145
85.2	000	165
107.5	0000	195
126.7	250 000 mil circulares	215
152.0	300 000 mil circulares	240
177.3	350 000 mil circulares	260
202.7	400 000 mil circulares	280
253.4	500 000 mil circulares	320
304.0	600 000 mil circulares	355
354.7	700 000 mil circulares	385
380.0	750 000 mil circulares	400
405.4	800 000 mil circulares	410
456.0	900 000 mil circulares	435
506.7	1 000 000 mil circulares	455
633.4	1 250 000 mil circulares	495
760.1	1 500 000 mil circulares	520
886.7	1 750 000 mil circulares	545
1 013.4	2 000 000 mil circulares	560

Anexo 11. Aprobación de abstract departamento de idiomas

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA INDOAMÉRICA

FACULTY OF ENGINEERING, INDUSTRY AND PRODUCTION

Industrial Engineering

AUTHOR: ALCASIGA USHÑA WIDINSON JAVIER

TUTOR: MSc. SEGURA D ROUVILLE JUAN JOEL

ABSTRACT

DESIGN OF A RENEWABLE ENERGY SYSTEM FOR A FARM LOCATED IN ILLOLÁN, PICHINCHA.

This degree search is being developed on a 90-hectare farm located in the rural area of Illolán, on the outskirts of the province of Pichincha. Cattle ranching activities are carried out on the farm, but these are severely limited by the lack of access to electricity. As a solution to this problem, the design of a renewable energy system based on photovoltaic technology is proposed, which will provide electricity to the entire farm, promoting a more efficient and productive development of livestock operations. The project employs various engineering methodologies, including the identification of the estimated energy load required for the farm, the determination of the total capacity required for electricity supply, the evaluation and selection of the most appropriate renewable energy source using the Holmes Weighting Criteria Matrix, and the detailed technical design of the renewable energy system. To identify the main problems faced by the farm, a Pareto Diagram was used to prioritize the problems according to their impact and frequency, based on the principle that approximately 80% of the effects come from 20% of the causes. This analysis revealed that the most critical problem is the limited access to electricity, due to the absence of a nearby distribution network, which directly affects farm productivity. After carrying out a thorough evaluation of the different renewable energy sources, it was concluded that the most suitable option for the farm is a system based on photovoltaic solar panels. As a result of the technical analysis, it was determined that the total capacity required to cover the energy demand is 4610 W, a figure that slightly exceeds the estimated energy consumption, ensuring an adequate supply of electricity for all farm operations. This

KEYWORDS: photovoltaic system, renewable energy, solar panels.

