



# **UNIVERSIDAD NACIONAL “PEDRO RUIZ GALLO”**



**Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica**

## **TESIS**

**Para Optar el Título Profesional de  
INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA**

**Tecnoeconomía de un sistema fotovoltaico con seguidores  
solares para abastecer energía eléctrica al Caserío Rama  
Serquen, distrito de Ferreñafe**

**Presentado por:**

**Bach. Diego Alonso Villalobos Zúñiga**

**Asesor:**

**M.Sc. Ing. Jony Villalobos Cabrera**

**LAMBAYEQUE – PERU**

**2024**



**UNIVERSIDAD NACIONAL  
“PEDRO RUIZ GALLO”**



**Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica**

**TESIS**

**Para Optar el Título Profesional de  
INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA**

**Tecnoeconomía de un sistema fotovoltaico con seguidores  
solares para abastecer energía eléctrica al Caserío Rama  
Serquen, distrito de Ferreñafe**

**Presentado por:**

**Bach. Diego Alonso Villalobos Zúñiga**

**Aprobado por el Jurado Examinador:**

**PRESIDENTE: M.Sc. Ing. Carlos Yupanqui Rodriguez**

**SECRETARIO: Ing. Héctor Antonio Oviden Nuñez**

**VOCAL: Ing. Nestor Daniel Puyen Mateo**

**ASESOR: Ing. Jony Villalobos Cabrera**

**LAMBAYEQUE – PERU**

**2024**



# UNIVERSIDAD NACIONAL “PEDRO RUIZ GALLO”




Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica

## TESIS

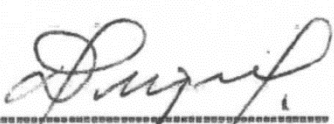
**“Tecnoeconomía de un sistema fotovoltaico con seguidores  
solares para abastecer energía eléctrica al Caserío Rama  
Serquen, distrito de Ferreñafe”**


### CONTENIDOS

<b>CAPÍTULO I</b>	<b>: PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN</b>
<b>CAPÍTULO II</b>	<b>: MARCO TEÓRICO</b>
<b>CAPÍTULO III</b>	<b>: MARCO METODOLÓGICO</b>
<b>CAPÍTULO IV</b>	<b>: ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS</b>
<b>CAPÍTULO V</b>	<b>: DISCUSIÓN DE RESULTADOS</b>
<b>CAPÍTULO VI</b>	<b>: CONCLUSIONES</b>
<b>CAPÍTULO VII</b>	<b>: RECOMENDACIONES</b>

  
M.Sc. Ing. CARLOS YUPANQUI RODRIGUEZ  
PRESIDENTE

  
ING. HÉCTOR ANTONIO OLIDEN NUÑEZ  
SECRETARIO

  
ING. NÉSTOR DANIEL PUYEN MATEO  
MIEMBRO

  
M.Sc. Ing. JONY VILLALOBOS CABRERA  
ASESOR

**LAMBAYEQUE – PERU**

**2024**

## DECLARATORIA DE ORIGINALIDAD


Yo Investigador principal Diego Alosna, Villalobos Zúñiga e Ing. Jony Villalobos Cabrera , Asesor de la investigación **“Tecnología de un sistema fotovoltaico con seguidores solares para abastecer energía eléctrica al caserío rama Serquen, Distrito de Ferreñafe ”** Declaro bajo juramento que este trabajo no ha sido plagiado , ni contiene datos falsos .En caso se demostrara lo contrario, asumo responsablemente la anulación de este informe y por ende el proceso administrativo a que hubiera lugar .Que pueda conducir a la anulación del título o grado emitido como consecuencia del informe.

Lambayeque, 20 de marzo 2024



---

**DIEGO A. VILLALOBOS ZÚÑIGA**



---

M.Sc. Ing. Villalobos Cabrera, Jony

## DEDICATORIA

Este trabajo de investigación va dedicado a mis queridos padres, que en todo momento me guían; quienes me motivaron me ayudaron incondicionalmente siendo hasta hoy la fuerza fundamental para lograr mis objetivos; quienes me inspiraron y siempre me brindaron lecciones de superación y valentía para salir adelante.

Diego Alonso

## AGRADECIMIENTO

Dios por darme la vida y amor, Mi gratitud a mis padres, y mi querida hermana Fiorella, motor y motivo para seguir adelante en este trabajo de investigación.

A los docentes de la universidad y a los pobladores del caserío rama Serquén distrito de Ferreñafe en especial. A mi asesor Ing. Jony Villalobos Cabrera, quien me orientó en cada inquietud por lo que hizo posible el desarrollo de esta investigación.

A la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo, por darme la oportunidad de graduarme como Ing. Mecánico Eléctrico.

Diego Alonso

## **RESUMEN**

El objetivo fue evaluar la tecno-economía de la implementación de un sistema fotovoltaico con seguidores solares para proveer energía eléctrica al caserío Rama Serquén, en el distrito de Ferreñafe. Se empleó un enfoque descriptivo con un diseño no experimental de corte transversal. La población y muestra consistieron en 34 viviendas del caserío mencionado. Las técnicas utilizadas fueron observaciones, con entrevistas como instrumento. Los resultados revelaron que la inversión inicial se amortiza en 12 años. La inversión total requerida para suministrar energía a 34 unidades de vivienda en Rama Serquén asciende a S/ 244,722. Este monto incluye S/ 166,050.77 para la compra de materiales, S/ 42,583.80 para la instalación, S/ 14,195 en transporte y S/ 9,520 para el mantenimiento del sistema. Se ha considerado un 5% adicional del subtotal para cubrir gastos imprevistos. Además, al explorar otras alternativas de suministro energético en la zona, se concluyó que el uso de paneles solares es más rentable y sostenible a largo plazo, con un periodo de recuperación inmediato. Se concluyó que se identificaron ventajas ambientales en el uso de paneles solares, a pesar de los costos iniciales elevados y la dependencia del clima.

Palabras clave: Tecno economía, Sistema fotovoltaico, Seguidores solares, Abastecimiento energético.

## **ABSTRACT**

The objective of this research was to assess the economic viability of implementing a photovoltaic system with solar trackers to provide electrical energy to the hamlet of Rama Serquén, located in the district of Ferreñafe. A descriptive approach with a non-experimental cross-sectional design was employed. The population and sample consisted of 34 households in the mentioned hamlet. The techniques used were surveys and observations, with interviews as the instrument. The results revealed that the initial investment is recovered within 9 years, generating profits from the tenth year onwards. Additionally, it was determined that installing a photovoltaic system with solar trackers to supply energy to the 34 households is feasible, considering the energy needs and solar radiation in the community. The total project costs analysis yielded a sum of S/. 158,663.00 soles, distributed as S/. 109,534.02 for materials, S/. 10,953.40 for transportation, and S/. 36,146.23 for assembly and maintenance. Upon exploring other energy supply alternatives in the area, it was concluded that the use of solar panels is more cost-effective and sustainable in the long term, with an immediate recovery period. In conclusion, environmental benefits were identified in the use of solar panels, despite the high initial costs and climate dependence.

**Keywords:** Techno-economics, Photovoltaic system, Solar trackers, Energy supply.



## Índice general

DEDICATORIA DE ORIGINALIDAD .....	iv
DEDICATORIA .....	v
AGRADECIMIENTO .....	vi
RESUMEN .....	vii
ABSTRACT .....	viii
ÍNDICE GENERAL .....	ix
ÍNDICE DE TABLAS .....	x
ÍNDICE DE FIGURAS .....	xi
INTRODUCCIÓN .....	1
Capítulo 1. Problema de investigación .....	2
1.1. Realidad problemática .....	2
1.2. Formulación del problema .....	2
Problema general .....	2
Problemas específicos .....	3
1.3. Hipótesis general .....	3
1.4. Justificación de la investigación .....	3
1.5. Objetivos de la investigación .....	4
CAPÍTULO 2. MARCO TEORICO .....	5
2.1. Antecedentes de la investigación .....	5
2.2. Bases teóricas .....	10
2.3. Definición de términos .....	28
CAPITULO III: MARCO METODOLÓGICO .....	32
3.1. Diseño y tipo de investigación .....	32
3.2. Población y muestra .....	32
3.3. Técnicas, instrumentos, equipos, materiales de investigación .....	36
CAPITULO IV. ANALISIS E INTERPRETACION DE RESULTADOS .....	37
CAPITULO V. DISCUSIÓN DE RESULTADOS .....	88
CAPITULO VI. CONCLUSIONES .....	92
CAPITULO VII.RECOMENDACIONES .....	92
REFERENCIAS .....	93
ANEXOS .....	101

## Índice de tablas

Tabla 1 Detalles del consumo energético en el mundo .....	14
Tabla 2 Nivel de radiación solar promedio mensual en Perú .....	16
Tabla 3 Tamaño de población por vivienda del caserío Rama Serquén.....	32
Tabla 4 Matriz de Operacionalización de variables .....	34
Tabla 5 Necesidades de energía eléctrica de los habitantes .....	21
Tabla 6 Estimación de la potencia y el uso diario de los dispositivos eléctricos .....	38
Tabla 7 Proyección de habitantes en un horizonte de 20 años .....	39
Tabla 8 Consumo unitario de energía anual por abonado por el número de abonados..	40
Tabla 9 Consumo de energía del caserío proyectado a 20 años .....	41
Tabla 10 Consumo mensual de alumbrado público Actual .....	41
Tabla 11 Consumo de energía de alumbrado público proyectado a 20 años .....	42
Tabla 12 Consumo de energía de viviendas del caserío proyectado a 20 años .....	43
Tabla 13 Angulo de orientación de los paneles en el caserío Rama Serquen .....	44
Tabla 14 Parámetros estimados de la red de distribución .....	55
Tabla 15 Parametros para los postes de concreto .....	56
Tabla 16 Parámetros estimados para las luminarias.....	56
Tabla 17 Parámetros estimados para los pastorales.....	57
Tabla 18 Conductores requeridos .....	54
Tabla 19 Materiales y componentes estructurales del seguidor solar .....	60
Tabla 20 Componentes del seguidor solar.....	67
Tabla 21 Costos de adquisición de materiales.....	71
Tabla 22 Costo de instalación de un sistema fotovoltaico con seguidores solares.....	72
Tabla 23 Costo de mantenimiento .....	73
Tabla 24 Costo de inversión del proyecto .....	74
Tabla 25 Costo de inversión del Sistema de Red Eléctrica Convencional.....	75
Tabla 26 Costo de inversión del Sistema de Generadores Diésel .....	77
Tabla 27 Costo de inversión del sistema de Biomasa .....	78
Tabla 28 Comparación del sistema fotovoltaico y un sistema eléctrico convencional ..	80
Tabla 29 Depreciación anual de los equipos .....	81
Tabla 30 Total, de depreciación anual.....	83
Tabla 31 Análisis del gasto económico anual de las familias del Caserío .....	84
Tabla 32 Flujo de caja proyectado en un horizonte de 20 años.....	85
Tabla 33 Flujo de caja .....	87

## Índice de figuras

Figura 1 Capacidad de generación fotovoltaica solar.....	12
Figura 2 Otras energías renovables .....	13
Figura 3 Diagrama de trayectorias solares .....	19
Figura 4 Efecto Fotovoltaico .....	21
Figura 5 Matriz fotovoltaica solar eléctrica.....	21
Figura 6 Tipos de radiación en la superficie de la tierra .....	22
Figura 7 Seguidor solar unidireccional de un eje .....	27
Figura 8 Seguidor solar unidireccional de dos ejes .....	27
Figura 9 Especificaciones Técnicas del Panel Solar 500W Deep Blue 3.0 JA Solar.....	46
Figura 10 Características del Inversor Cargador 3000W 24V MPPT 60A .....	49
Figura 11 Batería GEL 250Ah 12V Tensite .....	51
Figura 12 Características del Inversor Victron Phoenix 12V 375VA VE., Direct.....	52
Figura 13 Diseño de la central solar fotovoltaica en el caserío Rama Serquén.....	62
Figura 14 Plano de distribución de la red de baja tensión en el caserío Rama Serquén.	63
Figura 13 Seguidor solar de 2 ejes.....	64

## INTRODUCCIÓN

La era contemporánea se caracteriza por avances tecnológicos y una interconexión global sin precedentes, donde la electrificación se presenta como un pilar fundamental para el progreso y el bienestar social. A pesar de estos notables avances, la falta de acceso a la energía eléctrica persiste como un desafío global. Un informe reciente de la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2023) revela que aproximadamente 675 millones de personas carecen de acceso a la electricidad en todo el mundo. Los Objetivos de Desarrollo Sostenible subrayan que este déficit afecta al 3% de la población mundial, con consecuencias adversas para la salud, como un aumento de la mortalidad y un mayor riesgo de enfermedades cardiovasculares y respiratorias (ONU, 2019).

La falta de acceso a la electricidad en zonas rurales del Perú es un problema social importante y descuidado. Dada la dificultad y el alto costo de instalar infraestructuras eléctricas convencionales en áreas remotas, se está considerando invertir en fuentes de energía renovable más económicas. Esto podría mejorar la calidad de vida de los habitantes, ofreciendo una alternativa viable (Banco Mundial, 2014). La energía solar es popular debido a su accesibilidad y simplicidad. Se recoge a través de paneles fotovoltaicos, que convierten la luz solar en electricidad almacenada en baterías para su uso cuando no hay sol. Para mejorar su eficiencia, se puede agregar un seguimiento solar que orienta los paneles hacia el sol durante el día (Repsol, 2024).

Debido a sus características geográficas y climáticas, el Perú posee un gran potencial en energía solar debido a su radiación solar abundante, aprovechada por la Dirección Ejecutiva de Proyectos del Ministerio de Energía y Minas en colaboración con SENAMHI. Juntos, están elaborando un mapa solar para evaluar el potencial solar en diversas regiones del país, lo que será vital para su planificación y aprovechamiento óptimo (SENAMHI, 2003). Este estudio propone abastecer de energía al Caserío Rama Serquen en Ferreñafe mediante un sistema fotovoltaico conectado con seguidores solares, incluyendo iluminación y equipos electrónicos. Se realizará un análisis de carga, tipos de paneles y eficiencia, así como la ubicación del sistema. El objetivo es generar electricidad durante el día utilizando la radiación solar y evaluar su rentabilidad económica.

## **Capítulo 1. Problema de investigación**

### **1.1. Realidad problemática**

1.1.1. Contexto internacional: La falta de acceso a la electricidad en España refleja un marcado indicador de exclusión social y desigualdad, afectando especialmente a grupos vulnerables como las personas mayores, las familias con bajos ingresos y los inmigrantes en situación precaria. Mientras países como Dinamarca, Suecia y Finlandia lideran en la implementación de energía, los mayores desafíos persisten en la región de África Central, donde alrededor de 840 millones de personas carecen de acceso a la electricidad, con el 87% de la población residiendo en zonas rurales (El País, 2022).

En el contexto latinoamericano, el déficit energético, un obstáculo para alcanzar el séptimo Objetivo del Banco Interamericano de Desarrollo (BID, 2019), ha experimentado mejoras, pero aún enfrenta desafíos significativos. Mientras Costa Rica, México y Chile generan entre el 20% y el 25% de su electricidad, Uruguay produce el 48%, y Colombia, beneficiándose de menores costos tecnológicos, aborda la falta de energía en diversas zonas. A nivel nacional, el Ministerio de Energía y Minas (2023) informa sobre la ejecución de 30 proyectos de electrificación rural, pero un estudio del Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI, 2023) revela que el 42% de las zonas rurales de la selva peruana aún carecen de acceso a la electricidad. En este contexto, la creciente conciencia ambiental y la necesidad de garantizar el acceso a servicios esenciales en áreas remotas han estimulado la exploración de fuentes de energía renovable (Lu et al., 2023). A nivel local, se ha reconocido la integración de fuentes energéticas sostenibles como una estrategia efectiva para abordar estos desafíos. En este contexto, la energía solar fotovoltaica se destaca como una opción para dar abordar el problema reconocido, aprovechando los recursos solares disponibles en la región. Dado que la zona se encuentra en un entorno rural con gran potencial solar, este estudio se enfocará en evaluar la viabilidad técnica y económica de estas tecnologías para la generación de energía eléctrica.

### **1.2. Formulación del problema**

#### **Problema general**

¿Cuál es la tecno- economía de la implementación de un sistema fotovoltaico con seguidores solares para abastecer de energía eléctrica al Caserío Rama Serquén, ubicado en el Distrito de Ferreñafe, Lambayeque?

## **Problemas específicos**

1. ¿Cuáles son las necesidades de energía eléctrica de los habitantes de la comunidad de Rama Serquén, y evaluar los datos de radiación solar en el área del caserío para la generación eléctrica de un sistema fotovoltaico con seguidores solares?
2. ¿Cuáles son los costos totales asociados con la adquisición, instalación y mantenimiento a lo largo del tiempo del sistema propuesto y costo del kWh generado?
3. ¿Cuáles son las opciones de suministro de energía disponibles en la zona, considerando aspectos como la conexión a la red eléctrica convencional, generadores Diésel u otras fuentes de energía renovable?
4. ¿Cuáles son las ventajas y desventajas del sistema fotovoltaico con seguidores solares en comparación con las fuentes de energía convencionales, en aspectos de sostenibilidad, impacto ambiental y confiabilidad del suministro?
5. ¿Cuál es la viabilidad económica del sistema propuesto mediante la tasa de recuperación de la inversión (PRI) y la tasa interna de retorno (TIR)?

### **1.3. Hipótesis general**

La implementación de un sistema fotovoltaico con seguidores solares para el suministro de energía eléctrica en el caserío Rama Serquén es tecnoeconómico viable.

### **1.4. Justificación de la investigación**

La justificación teórica de esta investigación radica en la necesidad de evaluar tanto la viabilidad técnica como económica de implementar un sistema fotovoltaico con seguidores solares en el Caserío Rama Serquén, ubicado en el Distrito de Ferreñafe. Para ello, se hará uso de teorías pertinentes que enriquecerán el desarrollo del conocimiento y proporcionarán un sólido sustento teórico. Este enfoque se respalda no solo por el potencial solar significativo de la región, la posibilidad de mejorar la eficiencia mediante seguidores solares y los beneficios económicos a largo plazo, sino también por su contribución a la sostenibilidad ambiental. Además, se busca establecer un modelo aplicable a comunidades rurales.

La justificación metodológica se fundamenta en la necesidad de realizar un análisis exhaustivo del potencial solar local, diseñar un sistema fotovoltaico con seguidores solares,

evaluar costos e inversiones, llevar a cabo un análisis económico y financiero, evaluar la sostenibilidad ambiental, implementar y monitorear el sistema. Este enfoque integral metodológico permitirá una evaluación completa de la viabilidad técnico-económica del sistema en el Caserío Rama Serquén. Desde una perspectiva social, la investigación se justifica al buscar mejorar la calidad de vida en el Caserío Rama Serquén a través del acceso a una energía sostenible. Además de la reducción de desigualdades, se anticipa la generación de empleo local, el fortalecimiento de la resiliencia comunitaria y la contribución al desarrollo sostenible como parte integral de los objetivos sociales planteados.

## **1.5. Objetivos de la investigación**

### **1.5.1. Objetivo general**

Evaluar la tecnología de la implementación de un sistema fotovoltaico con seguidores solares para el abastecimiento de energía eléctrica en el caserío Rama Serquén, ubicado en el distrito de Ferreñafe

### **1.5.2. Objetivos específicos**

1. Analizar las necesidades de energía eléctrica de los habitantes de la comunidad de Rama Serquén, y evaluar los datos de radiación solar en el área del caserío para la generación eléctrica de un sistema fotovoltaico con seguidores solares.
2. Estimar los costos totales asociados con la adquisición, instalación y mantenimiento a lo largo del tiempo del sistema propuesto y costo del kWh generado.
3. Explorar otras opciones de suministro de energía disponibles en la zona, considerando aspectos como la conexión a la red eléctrica convencional, generadores Diésel u otras fuentes de energía renovable, y compararlo con la propuesta.
4. Evaluar las ventajas y desventajas del sistema fotovoltaico con seguidores solares en comparación con las fuentes de energía convencionales, en aspectos de sostenibilidad, impacto ambiental y confiabilidad del suministro.
5. Determinar la viabilidad económica del sistema propuesto mediante la tasa de recuperación de la inversión (PRI) y la tasa interna de retorno (TIR).

## **CAPÍTULO 2. MARCO TEORICO**

### **2.1. Antecedentes de la investigación**

A nivel internacional

Lijun Zhang (2019) propone tres contribuciones significativas al campo de los sistemas fotovoltaicos (PV), introduciendo conceptos innovadores que amplían la comprensión y mejoran la eficiencia general. En primer lugar, presenta funciones avanzadas de salida fotovoltaica que abarcan estados estables y dinámicos. La propuesta de utilizar la pendiente de la curva I-V (AG) como base de control para distinguir estos estados mejora la comprensión de los principios de funcionamiento de los paneles fotovoltaicos. En segundo lugar, propone dos métodos altamente eficientes para la generación de energía en sistemas fotovoltaicos, basados en las características generales de la eficiencia fotovoltaica. La nueva tecnología de captura del punto de máxima potencia (MPPC) y la tecnología MPPT de conductancia incremental avanzada (Inc. Cond) mejoran tanto el rendimiento dinámico como el estable sin oscilaciones. La tecnología MPPC, al requerir solo dos resistencias para registrar el punto de máxima potencia (MPP), resulta en un alto rendimiento de seguimiento. Finalmente, presenta un método de generación de energía solar sostenible que combina la tecnología MPPC y un supercondensador (super C). Este sistema integrado de generación de energía fotovoltaica reduce los requisitos de compensación al hacer controlable la energía fotovoltaica no controlada. El sistema demuestra ser eficaz en la prevención de perturbaciones eléctricas, como transitorios de bajo voltaje, transitorios de alto voltaje y parpadeos. Estas contribuciones tienen el potencial de mejorar las tecnologías existentes y ampliar las aplicaciones prácticas de los sistemas de generación de energía fotovoltaica, marcando un avance significativo en el campo.

Vaziri et al. (2020) se propusieron determinar el escenario más eficiente dentro de los estándares de emisiones aceptables del potencial solar de Irán, explorando la integración de paneles fotovoltaicos (PV) con bancos de baterías y la red para generar electricidad para 100 hogares. El estudio llevó a cabo análisis tecnoeconómicos y medioambientales con el objetivo de optimizar la producción de energía fotovoltaica mediante diferentes sistemas de seguimiento solar. Además, se evaluó el impacto de las recompras de redes y se realizó un análisis de sensibilidad para una aplicabilidad más amplia. Los resultados obtenidos indican que los sistemas de seguimiento solar pueden reducir significativamente la cantidad de



paneles necesarios, aunque se señala que el elevado costo de los dispositivos de seguimiento puede afectar la eficiencia económica. En este contexto, el sistema de control vertical emerge como la opción más rentable, con un costo energético de 0,241 dólares por kilovatio-hora (kWh), mejorando la potencia de salida media en un 23%. En contraste, los seguidores de dos ejes se consideran menos económicos, a pesar de un aumento del 32% en la producción de energía. El análisis de sensibilidad arroja luz sobre el impacto de la fracción renovable y el costo inicial en el costo energético óptimo, que se sitúa en el rango de \$0,227 a \$0,255 por kWh. La sección de metodología detalla el software utilizado, los escenarios considerados, el modelo del problema y las especificaciones aplicadas en el estudio, proporcionando así una base robusta para la interpretación y aplicación de los resultados.

Seme et al. (2020) llevaron a cabo una revisión exhaustiva de la investigación y la literatura actual centrada en los sistemas de control fotovoltaicos para la generación de energía. Esta revisión se enfoca en los sistemas de monitoreo de energía solar, proporcionando una comprensión fundamental del campo. El estudio destaca tres sistemas principales que contribuyen significativamente a lograr una alta eficiencia energética: el sistema de control fotovoltaico, el sistema fotovoltaico de espejo de enfoque (CPV) y el sistema híbrido fotovoltaico/térmico (PV/T). A pesar de que cada uno de estos sistemas tiene el potencial de aumentar la producción de energía de manera individual, la literatura existente no ha identificado un sistema integrado que combine las ventajas de los tres. Los autores concluyen resaltando que los sistemas de seguimiento fotovoltaico, ya sea de un solo eje o de dos ejes, equipados con sistemas de control adecuados, pueden aumentar la generación de energía en un rango significativo, entre un 22% y un 56%, en comparación con los sistemas fotovoltaicos estacionarios. Adicionalmente, destacan que la combinación de un sistema de control por microprocesador y sensores es el método más utilizado y eficaz. Aunque los sistemas de control fotoeléctrico basados en sensores pueden ser costosos debido al equipo adicional necesario, su ventaja radica en una menor propensión a errores de control en comparación con los sistemas que carecen de sensores. Este enfoque, a pesar de su costo adicional, ofrece una mayor precisión y fiabilidad en el monitoreo y control de sistemas fotovoltaicos, contribuyendo así a maximizar la eficiencia y rendimiento general.

Hosseini & Firoozabadi (2022) En Irán realizaron una evaluación y comparación de sistemas fotovoltaicos con seguidores solares en red, abarcando tecnologías como la inclinación fija (FT), ajuste continuo vertical (VCA), ajuste mensual horizontal (HMA),

ajuste continuo (HCA) y sistemas de seguimiento de dos ejes (YOUR). La investigación realizó un análisis técnico, económico y ambiental. Destacando el análisis ambiental, se observó una mayor reducción de emisiones de CO<sub>2</sub> con el sistema TA en comparación con el sistema FT, siendo el sistema HMA dominante en el estudio de caso. La metodología de investigación se basó en el uso del software HOMER para modelar el sistema solar y en diversas técnicas de toma de decisiones con criterios múltiples (MCDM) para ponderar criterios y establecer prioridades. El método SWARA se empleó como estándar de ponderación, mientras que los métodos WASPAS, EDAS y ARAS se utilizaron para priorizar los sistemas de seguimiento solar. Los resultados concluyeron que el sistema TA exhibía la mayor eficiencia energética, contrastando con el sistema FT que mostraba la menor eficiencia. En cuanto a la demanda de electricidad, los sistemas de CT dependían más de la red (57%), mientras que los sistemas de CT suministraban principalmente electricidad (53%). La comparación de los métodos MCDM reveló coeficientes de Pearson elevados, indicando una sólida concordancia entre los diferentes métodos y presentando nuevas aplicaciones de los métodos WASPAS, EDAS y ARAS en el ámbito de la tecnología solar.

Según Alomar (2023), la investigación se centra en los aspectos energéticos, exergéticos, económicos y ambientales de los sistemas solares fotovoltaicos utilizando sistemas de monitoreo de uno y dos ejes en las condiciones climáticas de la ciudad de Zaho, al norte de Irak. El análisis teórico de una planta solar propuesta de 1 MW se basa en datos experimentales recopilados el 5 de septiembre de 2022 y en datos meteorológicos horarios de 2022. Los resultados revelan el impacto significativo del sistema de control en el rendimiento energético y exergético. Los sistemas bidireccionales y unidireccionales muestran un aumento en la producción, con mejoras notables del 40% a las 8 a. m., del 13% (en el caso simple) y del 20% (en el caso dúplex) al mediodía, y una mejora del 30% a las 5:00 p. m., en comparación con los paneles fijos. Desde una perspectiva teórica, se observa una mejora del 16,5% (en el caso simple) y del 25,5% (en el caso dúplex) en el rendimiento energético del sistema de control en comparación con los paneles fijos. El análisis económico indica que el costo energético del sistema de control es menor (4,89 para el sistema simple y 4,41 para el sistema dual) en comparación con el sistema constante (8,26). Además, se destaca que el sistema de control logra reducir las emisiones de CO<sub>2</sub> en aproximadamente 4.000 a 4.500 toneladas por año. En conclusión, los estudios experimentales y teóricos respaldan la superioridad del sistema de control para mejorar el

rendimiento de los sistemas solares fotovoltaicos, destacando su eficiencia tanto desde una perspectiva económica como ambiental.

En el ámbito nacional

Alarcón & Paredes (2018) desarrollaron una tesis titulada "Plan de Negocios para la Generación de Energía Renovable – Tecnología Solar" en la Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas (UPC). Su investigación se centró en alcanzar objetivos clave que incluyen hacer que el proyecto sea atractivo en términos de rentabilidad para los inversionistas del mercado durante los 20 años del contrato de concesión, contribuir a la sostenibilidad y mejora del medioambiente mediante el uso de energías renovables, y lograr la adjudicación de la subasta del 2018 para generar 25,000 MWh por año durante 20 años, con una rentabilidad superior al 10%. Las conclusiones obtenidas reflejan que el proyecto exhibe una rentabilidad del 16.6% para el accionista a un precio de USD 48.5 por MWh, y una rentabilidad del 10.7% a un precio de USD 45 por MWh. Este rango de acción se estableció como base para la oferta inicial. Es relevante destacar que en el proyecto se consideró un factor de carga de 0.29, el cual se considera conservador. Esto se justifica dado que las plantas actuales operan con un factor promedio más alto, y la planta más eficiente alcanza un factor de 0.33. Además, se observó una reducción significativa en la inversión para estos proyectos, evidenciada por los precios ofertados en las últimas 4 licitaciones, siendo la última oferta el 25% del precio inicial ofertado en la primera licitación.

Pérez, D. (2019) en su estudio diseño de un sistema de generación fotovoltaico con seguidor lumínico independiente a su ubicación. La población de estudio estuvo compuesta por 26 viviendas del distrito de Morrope. Como técnicas se emplearon la encuesta y el análisis documental bibliográfico. Para esto, se realizó un diagnóstico energético del centro de la ciudad, identificando las necesidades energéticas más frecuentes de la población, lo cual permitió dimensionar el equipo del sistema de generación de energía. Se diseñó la estructura del seguidor solar en SolidWorks y se programó utilizando el software libre C online. Se realizó un estudio de factibilidad considerando los materiales y mano de obra necesarios para la construcción e instalación según lo propuesto en el presupuesto. Los resultados permitieron desarrollar un sistema de seguimiento de luz que aumenta la producción de energía en un 21%. Concluyendo que, a pesar de que los costos del proyecto

aumentaron un 32%, los beneficios de estos costos adicionales recayeron en los usuarios, por lo cual se concibe el uso de un seguidor solar como un medio de mejora sostenible para el desarrollo de la energía.

Aquino y Canales (2022) llevaron a cabo un estudio con el propósito de determinar el rendimiento fotovoltaico de un seguidor solar de dos ejes equipado con células fotovoltaicas, con diferentes ángulos de inclinación, en altitudes superiores a los 3,800 metros sobre el nivel del mar (m.s.n.m.). Su investigación incluyó la introducción de un sistema de seguimiento solar controlado por dos actuadores lineales para rastrear automáticamente la trayectoria del sol durante el día, comparando su rendimiento con un sistema solar estacionario. Así mismo, busco optimizar la generación de energía en áreas con cambios climáticos severos, se instalaron células solares en diferentes ángulos de inclinación y se controlaron mediante un controlador lógico programable (PLC). El análisis de componentes principales (PCA) se utilizó para identificar factores que afectan el rendimiento de los sistemas de energía solar. Los resultados obtenidos indican que el seguidor solar de doble eje supera al sistema fijo, mostrando una potencia pico mensual un 37,63% mayor que el sistema fijo, alcanzando 10,66 kW/m<sup>2</sup>/t durante las horas pico de luz solar (PSH) en un día soleado. En días lluviosos y nublados, la eficiencia parcial fue inferior al 14,38%, y la producción de energía durante PSH fue de 6,54 kW/m<sup>2</sup>/día. A pesar del rendimiento reducido en los días de lluvia, el análisis PCA reveló que la lluvia tiene un efecto positivo en la limpieza de los módulos solares. En conclusión, el seguidor solar de doble eje en la sierra peruana demostró un rendimiento solar superior en comparación con los sistemas estacionarios, especialmente en días soleados. La capacidad de seguir continuamente la trayectoria del sol, combinada con el alto rendimiento de las células solares inclinadas, permitió que el sistema de seguimiento solar respondiera eficazmente al cambio climático en la región y contribuyera a una mayor eficiencia.

La opción más viable para suministrar energía eléctrica en poblaciones rurales es a través de sistemas fotovoltaicos integrados de manera adecuada, diseñados para satisfacer nuestras necesidades específicas. Sin embargo, la falta de información en estas zonas rurales obstaculiza el progreso colectivo de estos sistemas, limitando la contribución del sector privado. El gobierno peruano ha implementado estrategias necesarias para fortalecer el crecimiento del acceso a la electricidad, aumentando la cobertura del 76.0% al 91% para fines del 2013. En este contexto, en el año 2016, se invirtieron 8,009,337 nuevos soles en

Lambayeque, beneficiando a 48 localidades, incluido el distrito de Incahuasi (Ministerio de Energía y Minas, 2013, p. 103).

Lambayeque, con su clima tropical variable y un potencial de energía solar muy alto, cuenta con zonas consideradas óptimas para la implementación de sistemas fotovoltaicos, con una radiación solar que varía entre 6 y 6.5 kW-h/m<sup>2</sup>. Entre estas zonas destacan los distritos de Cañarís, Salas e Incahuasi (Gobierno Regional de Lambayeque, 2013, p. 67). El caserío Laquipampa Bajo, situado a 850 metros sobre el nivel del mar, presenta una latitud de -6°, 19', 55, 10" y una longitud de -79°, 26', 40,14". Está ubicado a dos horas del distrito de Incahuasi, provincia de Ferreñafe, y a tres horas de la provincia de Chiclayo. Actualmente, este caserío cuenta con 34 viviendas y una casa comunal.

La falta de acceso a la energía eléctrica es un factor significativo que limita el crecimiento social y económico de la población. Aunque existen proyectos para la electrificación en la región, no han sido determinantes para su ejecución. Esencialmente, la tecnología fotovoltaica se presenta como una solución que superará las expectativas, contribuyendo al desarrollo intelectual, cultural y social, mientras que sectores como el comercio y la agricultura podrían experimentar un avance considerable en comparación con áreas circundantes más desarrolladas. La ausencia de servicios eléctricos ha sumido a los habitantes en la miseria, resaltando la urgencia de implementar soluciones sostenibles para mejorar sus condiciones de vida.

## **2.2. Bases teóricas**

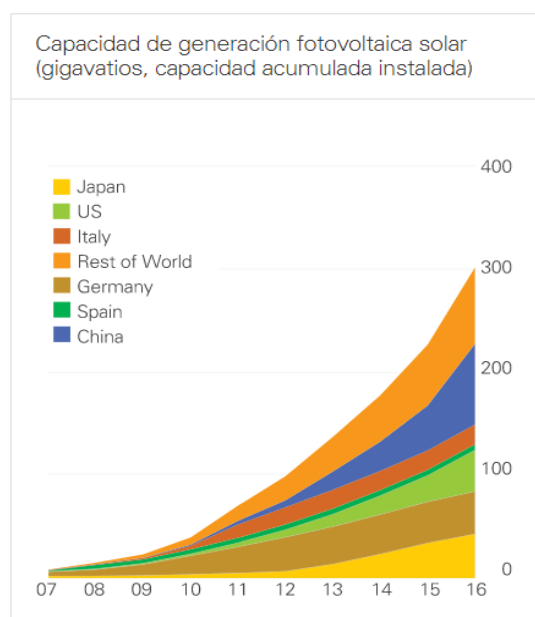
Energía solar en el mundo:

Según BP Global (2017), las nuevas instalaciones generadoras de energía solar fotovoltaica, que alcanzaron más de 75 GW en 2016, elevaron la capacidad global a 301 GW al cierre del año, representando un aumento del 33,2% en comparación con fines de 2015. Esta capacidad se ha más que triplicado en los últimos cuatro años. China lideró los incrementos significativos en 2016 con 34,5 GW, seguida por Estados Unidos con 14,7 GW, sumando ambos dos tercios del crecimiento global en capacidad solar. Japón contribuyó con la tercera mayor adición, alcanzando 8,6 GW. En cuanto a la capacidad instalada acumulada, China lidera con 78,1 GW, representando más del 25% del total mundial. Japón, con 42,8 GW, superó a Alemania (41,3 GW) para ocupar el segundo lugar, mientras que Estados Unidos, con 40,3 GW, quedó rezagado detrás de Alemania. La generación de energía solar

experimentó otro año de crecimiento rápido en 2016, con un aumento del 29,6%. Aunque su participación global en la generación de energía sigue siendo baja (1,3%), esta proporción se ha duplicado en solo tres años. La energía solar está comenzando a tener un impacto notable en el panorama de crecimiento de la generación de energía, contribuyendo con más del 20% al crecimiento mundial de la energía en 2016.

### Figura 1

#### *Capacidad de generación fotovoltaica solar*



Nota: La figura representa la capacidad de generación fotovoltaica solar. Tomado de BP Global, 2017.

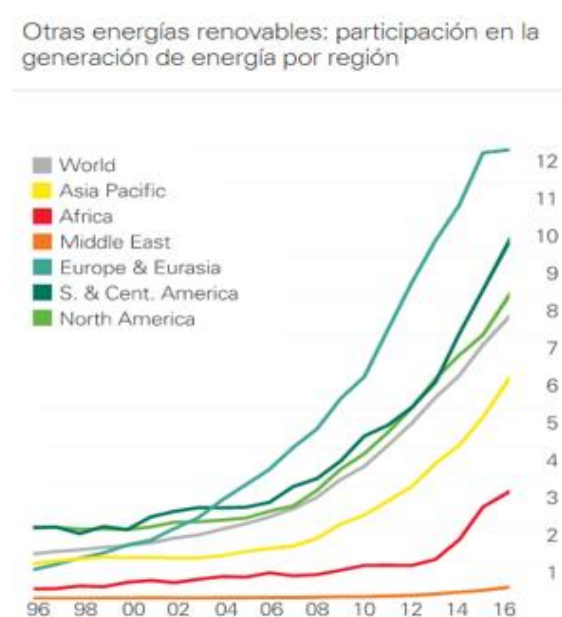
En 2016, la energía solar se destacó como la principal fuente de crecimiento de nueva energía a nivel mundial, marcando lo que se podría denominar la nueva era de las energías renovables. Representando dos tercios de la nueva capacidad agregada a las redes globales ese año, esta superó el crecimiento de todas las demás formas de generación de energía, incluyendo al carbón, que históricamente había sido la principal fuente. Este cambio significativo fue impulsado por la disminución de los precios y las políticas gubernamentales, especialmente en China, que contribuyó con casi la mitad de la capacidad solar instalada, las cuales podrían llegar a ser más económicas que las alternativas basadas en combustibles fósiles. Esto destaca la creciente importancia y viabilidad de la energía solar en la transformación del panorama energético global.

## Energías renovables

Proviene de procesos naturales como la luz solar, el calor geotérmico, el viento, las mareas, el agua y distintas formas de biomasa, se caracteriza por ser inagotable y regenerarse continuamente, reemplazando a los combustibles fósiles, destacando por su bajo impacto ambiental y origen no convencional. Según BP Global (2017), la generación de energía renovable no hidráulica experimentó un notable crecimiento del 14.1% en 2016, marcando el 13.º año consecutivo de crecimiento de dos dígitos. Estas energías contribuyeron significativamente al aumento global de la generación de energía, representando casi el 40% del incremento total en 2016 y contribuyendo con el 31% al crecimiento mundial de la energía primaria. Aunque la OCDE sigue siendo la principal fuente de generación de energía renovable, el crecimiento fuera de la OCDE ha superado a este en términos porcentuales durante los últimos 11 años. En 2016, la participación de las energías renovables en la generación de energía global alcanzó el 7.5%, casi duplicándose en cinco años desde el 4.0% en 2011. A nivel de la OCDE, representaron el 10.9% de la generación eléctrica en 2016, en comparación con el 4.8% en 2011. Actualmente diversos países han alcanzado una contribución notable del 20% de energías renovables en su matriz energética.

### Figura 2

*Otras energías renovables: participación en la generación de energía por región*



Nota: La figura denota otras energías renovables de distintos continentes del mundo.  
Tomado de BP Global, 2017

La energía renovable se genera mediante recursos naturales que se renuevan continuamente, sin agotarse. Diversas tecnologías aprovechan estas fuentes naturales para la generación de energía. Entre las más conocidas se encuentra la energía solar, seguida de la energía eólica, mientras que la hidroeléctrica se destaca como una de las más antiguas. Otras tecnologías renovables utilizan la energía geotérmica, la bioenergía y la energía oceánica para producir calor o electricidad. Además, las nuevas tecnologías habilitadoras desempeñan un papel crucial al permitir la gestión efectiva de la energía renovable, posibilitando su producción de manera constante, tanto de día como de noche, y fortaleciendo la red eléctrica. Estas tecnologías incluyen sistemas de almacenamiento de baterías, herramientas de predicción de suministro y tecnologías de red inteligente.

### Energía eléctrica

Clare (2001) define la energía eléctrica como la tasa de transferencia de carga eléctrica por unidad de tiempo en un circuito eléctrico. La unidad de potencia en el sistema internacional es el vatio, equivalente a un julio por segundo. La generación de energía eléctrica se lleva a cabo principalmente mediante generadores eléctricos, aunque también puede provenir de fuentes como baterías eléctricas. Por lo general, se suministra a hogares y empresas a través de una red eléctrica y se mide en kilovatios hora (3.6 MJ), que es el producto de la potencia en kilovatios y el tiempo de funcionamiento en horas. Los servicios eléctricos utilizan medidores de electricidad para medir la potencia, acumulando un total de la energía entregada a un cliente. La energía eléctrica, al ser una forma de baja entropía, se puede transportar eficientemente a largas distancias y convertir en otras formas de energía, como movimiento, luz o calor.

Se destaca que la energía eléctrica es esencial para numerosos usos, como iluminación, operación de computadoras, energía motriz y entretenimiento. Aunque también compete en aplicaciones como calefacción industrial, cocina, calefacción de espacios y tracción ferroviaria. La corriente eléctrica y el voltaje son características distintivas de la energía eléctrica, siendo su producción el resultado de la combinación de valores de corriente y voltaje. La corriente puede ser directa, con un flujo constante en una dirección, o alterna, con un movimiento oscilante en dispositivos y cables conectados.



**Tabla 1***Detalles del consumo energético en el mundo*

Año	1995	2000	2005	2010	2015
Potencia Instalada de electricidad (MW)	4461.7	6065.5	6200.6	8612.6	12188.6
Hidráulica	2479.4	2856.8	3207.1	3437.6	4151.8
Térmica	1982.3	3208.0	2992.8	5174.3	7701.0
Eolítica		0,7	0.7	0.7	239.8
Solar					96.0
Producción de electricidad (Miles de GWH)	16.88	19.92	25.51	35.91	48.27
Auto productos	3.77	1.59	1.7	2.36	2.56
Mercado Eléctrico	13.11	18.33	23.81	33.55	45.71
Hidráulico	11.52	15.75	17.57	19.57	23.13
Térmico	1.57	2.58	6.24	13.98	21.76
Eólico					0.23
Solar					0,59
Margen de reserva (%)	39	72	40	47	58
Potencia efectiva (miles de MW)	29	4.5	4.6	6.7	9.9
Máxima demanda (Millones de U\$\$)	295	659	393	1368	2593
Privada	66	440	231	979	2364
Estatat	155	166	117	166	122
Electrificación rural	74	53	45	223	107
Demanda de electricidad (Miles de Gwh)	13.62	17.14	22.4	31.8	42.33
Auto productores	3.77	1.59	1.7	2.36	2.56
Mercado Eléctrico	9.85	15.55	20.7	29.44	39.77
Residencial	3.15	3.94	5.02	7.09	9.18
Industria y minería	3.96	8.38	11.59	16.43	22.44
Comercial	2.26	2.69	3.46	5.21	7.20
Alumbrado	0.48	0.54	0.63	0.71	0.95
Número de clientes	2491.835	3352.209	3977.100	5170.941	6682.028
Libres	206	229	244	258	348
Regulados	2491.629	3351.980	3976.856	5170.683	6681.682
Longitud de líneas de transmisión (Km)	9132	13656	15272	17065	22098

Nota: consumo energético en el mundo desde el año 1995 al año 2015 cada 5 años. Tomado de Osinergmin (2017)

Se observa que la producción de energía solar adquirió mayor relevancia a partir del año 2015, marcando un punto de inflexión en su importancia, ya que en años anteriores tuvo una presencia mínima. Además, la información revela que la inversión en electrificación rural es la más baja en comparación con la inversión estatal y privada. Es importante destacar que, en el año 2017, la electrificación rural experimentó un aumento significativo en su protagonismo e importancia.

### Sistema Fotovoltaico Autónomo

Las instalaciones fotovoltaicas autónomas representan una solución rápida y eficiente en situaciones donde la conexión de una vivienda a la red eléctrica resulta imposible o poco rentable. El propósito fundamental de estos sistemas autónomos es proveer electricidad a instalaciones o dispositivos sin depender de una red eléctrica convencional. Estas instalaciones se implementan principalmente en hogares, cabañas, almacenes, embarcaciones, entre otros entornos. Un sistema fotovoltaico autónomo, también conocido como sistema de PV autónomo, está compuesto por paneles fotovoltaicos y puede integrar una turbina eólica para formar un sistema híbrido. Este tipo de sistema es capaz de satisfacer eficazmente las necesidades eléctricas de residencias permanentes o de temporada, oficinas, almacenes, barcos, entre otros. La energía generada se almacena en baterías de descarga profunda con voltajes de 12, 24 o 48 voltios, proporcionando autonomía de 1 a 5 días. Además, el sistema incluye un inversor que convierte la energía de CC a 12V/24V o 48V a corriente alterna de 220 voltios, la cual se utiliza para alimentar electrodomésticos como refrigeradores, televisores, lámparas, computadoras, módems de Internet, alarmas, cámaras de seguridad, entre otros.

Estos sistemas están diseñados para operar de manera independiente de la red eléctrica convencional y se dimensionan para suministrar cargas eléctricas tanto de corriente continua como alterna. Pueden alimentarse exclusivamente mediante paneles fotovoltaicos o incorporar fuentes adicionales como energía eólica, generadores de motor o la red eléctrica convencional en un sistema híbrido de PV. Entre los tipos de sistemas autónomos, el más sencillo es el de acoplamiento directo, donde la salida de CC de un módulo fotovoltaico se conecta directamente a una carga de CC. Aunque este diseño no almacena energía, resulta apropiado para aplicaciones que requieren funcionamiento solo durante las horas de luz solar, como ventiladores, bombas de agua y sistemas de calentamiento de agua solar térmica. Es esencial asegurar la coincidencia de impedancia entre la carga eléctrica y la potencia

máxima de salida de la matriz fotovoltaica en los sistemas de acoplamiento directo. En ciertos casos, como las bombas de agua de desplazamiento positivo, se emplea un convertidor electrónico DC-DC denominado seguidor de punto de máxima potencia (MPPT) entre la matriz y la carga para optimizar la utilización de la potencia máxima disponible.

#### Irradiación solar fotovoltaico del Perú

Perú disfruta de una irradiación horizontal global mensual (GHI) de 3,91 kilovatios hora por metro cuadrado por día (kWh/m<sup>2</sup>/día), exhibiendo un incremento del 7% en comparación con la irradiación normal directa mensual promedio (DNI) de 3,67 kWh/m<sup>2</sup>/día. Las instalaciones solares en Perú, que están permanentemente inclinadas en la latitud del país (inclinación promedio en latitud o ATaL), registran un promedio de 4,46 kWh/m<sup>2</sup>/día, superando en aproximadamente un 14% al GHI mensual promedio de 3,91 kWh/m<sup>2</sup>/día y alrededor de un 22% más que el promedio mensual de DNI de 3,67 kWh/m<sup>2</sup>/día (Laboratorio Nacional de Energía Renovable, 2016). A continuación, presentamos una comparación mensual detallada que demuestra cómo los niveles promedio de radiación solar en Perú se posicionan frente a los niveles promedio en una ciudad con históricamente altos índices (NV) y una ciudad con índices históricamente bajos (WA).

**Tabla 2**

*Nivel de radiación solar promedio mensual en Perú*

Mes	Bajo	Perú	Alto
Dic	1.26 k / m / d	2.11 k / m / d	5.05 k / m / d
Nov	1.76 k / m / d	2.61 k / m / d	5.75 k / m / d
Oct	3.01 k / m / d	4.01 k / m / d	6.56 k / m / d
Sep.	4.98 k / m / d	5.17 k / m / d	7.31 k / m / d
Ago.	5.14 k / m / d	5.42 k / m / d	7.29 k / m / d
Jul	5.83 k / m / d	5.64 k / m / d	7.37 k / m / d
Jun	5.46 k / m / d	5.86 k / m / d	7.36 k / m / d
Mayo	5.27 k / m / d	5.56 k / m / d	7.43 k / m / d
Abr	4.35 k / m / d	4.98 k / m / d	7.32 k / m / d
Mar	3.7 k / m / d	4.46 k / m / d	6.57 k / m / d
Feb	2.51 k / m / d	3.57 k / m / d	5.98 k / m / d
Ene	1.55 k / m / d	2,89 k / m / d	5.18 k / m / d

Nota: Radiación solar promedio mensual en el Perú de Enero a diciembre. Tomado de Solar Energy Data in Perú (2023)

En 2008, mediante el decreto No. 1002, el gobierno peruano instauró subastas bianuales para contratar capacidad de energía renovable en la red. Desde entonces, se han llevado a cabo cuatro subastas en total. Aunque Perú cuenta con un objetivo modesto de generación de energía limpia, aún sujeto a revisión, y mantiene un mandato de fusión de biocombustibles que no ha sido actualizado desde 2011. En el año 2016, el 10.8% de la generación total de 48.3 TWh en Perú provino de fuentes renovables, incluyendo biomasa, eólica, solar e hidroeléctrica pequeña. Las grandes centrales hidroeléctricas constituyeron el 39.8%, mientras que el gas natural representó el 46.4%, quedando el resto a cargo de fuentes como carbón, petróleo y diésel. Con el propósito de fomentar las energías renovables, Perú brinda incentivos como el despacho prioritario y una depreciación acelerada del 20% para proyectos de energías renovables (Climascope, 2017).

### **Factores que afectan el potencial de la energía solar:**

Ozgun (2013) identifica diversos factores que afectan el potencial de energía solar:

**Latitud:** La forma esférica de la Tierra influye en la intensidad de los rayos solares. Las regiones ecuatoriales experimentan mayor intensidad solar, y la densidad de energía disminuye a medida que nos alejamos del ecuador. La proximidad al ecuador es ventajosa para la energía solar.

**Cubierta de nubes:** Las nubes afectan la radiación solar que alcanza la Tierra al reflejar y absorber parte de la radiación entrante. El impacto varía según las capas de nubes, lo que puede resultar en niveles drásticamente diferentes de radiación solar en sitios de igual latitud.

**Aerosoles:** partículas atmosféricas pequeñas, como aerosoles y contaminantes, actúan como filtros que disminuyen la radiación solar que llega a la superficie. La contaminación y las tormentas de arena también tienen efectos similares, afectando el rendimiento de sistemas fotovoltaicos y aplicaciones solares.

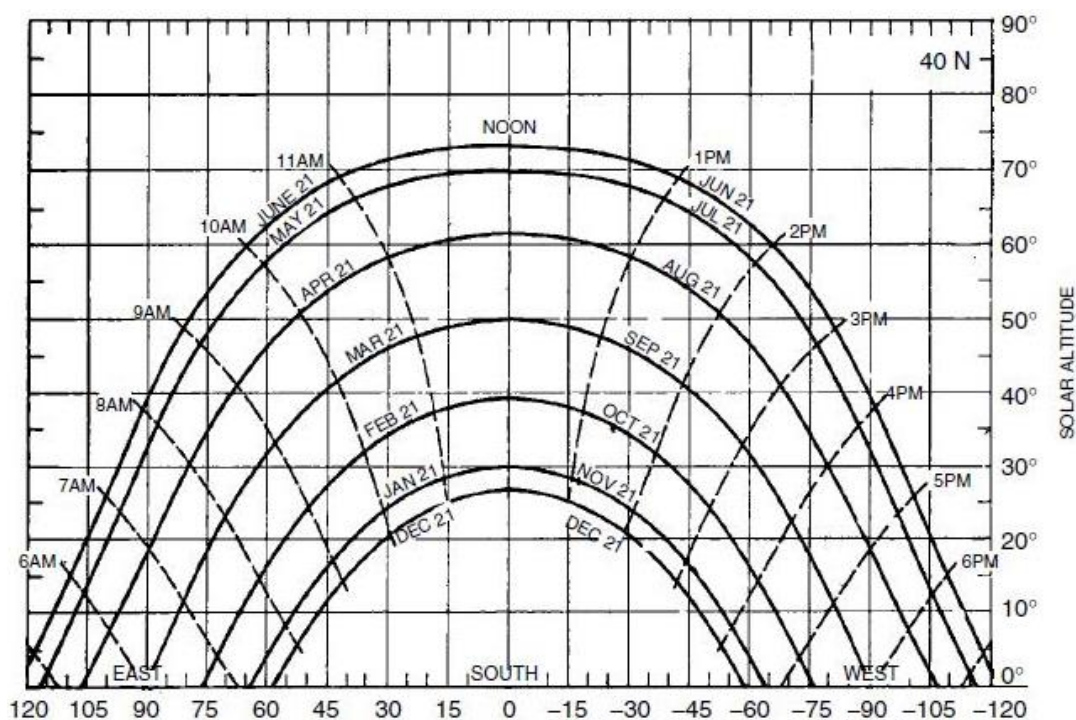
**Elevación:** a mayor altitud, los rayos solares viajan distancias atmosféricas más cortas, lo que reduce la absorción atmosférica. Esto se traduce en más radiación solar a mayores altitudes.

Sombreado: factores locales, como vegetación, edificaciones y características del paisaje, pueden proyectar sombras que bloquean la radiación solar. Esto afecta significativamente la radiación solar utilizable.

La cantidad de radiación solar en la superficie terrestre varía debido a condiciones atmosféricas cambiantes y la posición del sol a lo largo del día y del año. La intensidad se ve afectada por la latitud, el terreno, la estación, la hora del día y condiciones atmosféricas. La trayectoria solar puede visualizarse mediante un diagrama polar que muestra las alturas solares y los acimuts a lo largo del año en un lugar específico. Este diagrama es útil para determinar períodos de sombra debido a obstáculos. La sombra se mueve rápidamente cuando la distancia al obstáculo es significativa en comparación con las dimensiones del receptor. Estos factores demuestran la complejidad de evaluar y aprovechar eficientemente la energía solar en diferentes ubicaciones.

**Figura 3**

*Diagrama de trayectorias solares*



Nota: Matlab/Simulink and Renewable Energy (2011)

El efecto fotovoltaico, según Boyle (2004), se manifiesta mediante la generación de una corriente eléctrica entre dos materiales distintos que están en contacto y expuestos a la

luz o radiación electromagnética. Este fenómeno constituye la base de las células fotovoltaicas y, por ende, es esencial para la generación de electricidad solar.

El proceso del efecto fotovoltaico implica que dos materiales en contacto cercano producen un voltaje eléctrico cuando son impactados por la luz u otra energía radiante. Materiales semiconductores como el silicio o el germanio, en los cuales los electrones no se desplazan libremente entre átomos, liberan electrones de su condición ligada cuando son excitados por la energía de la luz. Estos electrones atraviesan la unión entre dos cristales diferentes más fácilmente en una dirección, generando una carga negativa en un lado de la unión y, por ende, un voltaje negativo en relación con el otro lado, de manera similar a un electrodo de una batería. El efecto fotovoltaico persiste mientras la luz incida sobre ambos materiales, generando corriente utilizable en un circuito eléctrico, como en un sistema de energía solar.

Características clave del efecto fotovoltaico incluyen:

**Materiales Semiconductores:** como el silicio, que muestra un comportamiento eléctrico diferenciado bajo la excitación de una fuente de energía externa, como la radiación solar.

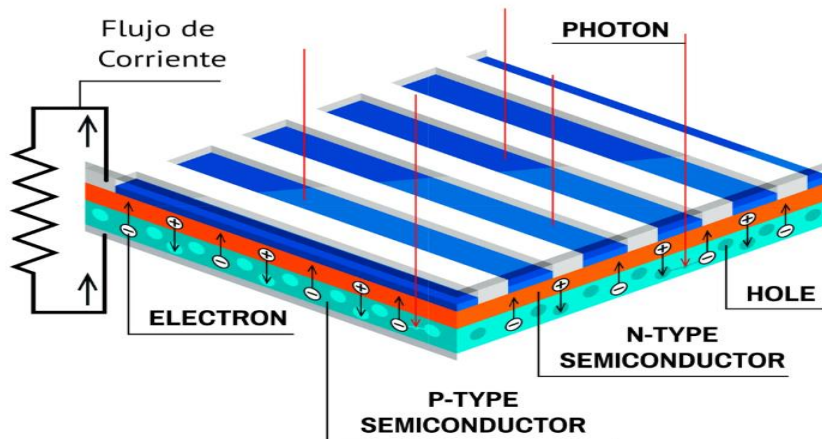
**Células Solares:** compuestas por dos tipos de semiconductores, uno de tipo p y otro de tipo n, que se unen para formar una unión pn. Esta unión crea un campo eléctrico que induce la dirección del movimiento de partículas cargadas.

**Transferencia de Energía:** la luz, compuesta por fotones, es absorbida por una célula fotovoltaica, transfiriendo la energía del fotón a un átomo del material semiconductor. Esto provoca que los electrones salten a una banda de conducción, generando un par de electrón-agujero.

**Movimiento de Carga:** debido al campo eléctrico de la unión pn, los electrones y agujeros se mueven en direcciones opuestas a lo esperado, creando una corriente eléctrica en la célula.

## Figura 4

### *Efecto Fotovoltaico*



Nota: Santiesteban, E. (2020). Efecto fotovoltaico en un Panel Solar.

### **Matriz fotovoltaica solar eléctrica**

Solar Direct (2016) describe la estructura de los sistemas fotovoltaicos, compuestos por los siguientes elementos:

**Celda fotovoltaica:** Consiste en una delgada oblea semiconductor formada por dos capas de silicio altamente purificado, dopadas con boro y fósforo respectivamente. Este diseño crea un exceso de electrones en un lado y un déficit en el otro. Cuando la oblea es expuesta a la luz solar, los fotones eliminan algunos de los electrones en exceso, generando una diferencia de voltaje de aproximadamente 0.5 voltios en el silicio.

**Contactos metálicos:** Situados en ambos lados del semiconductor, permiten que, con un circuito externo conectado, los electrones regresen a su posición original, generando una corriente eléctrica. La célula fotovoltaica actúa como una bomba de electrones y la cantidad de corriente depende de la cantidad de electrones desactivados por los fotones solares.

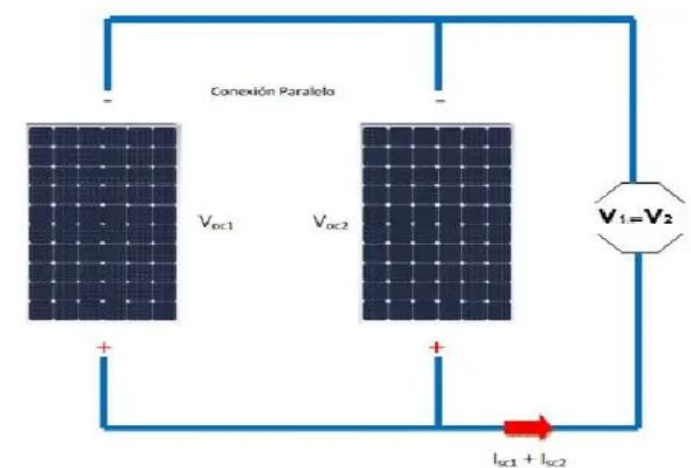
**Módulos fotovoltaicos:** Están compuestos por múltiples células fotovoltaicas cableadas en paralelo para incrementar la corriente y en serie para generar un voltaje más alto. Estos módulos, encapsulados con vidrio templado en la parte frontal y un material protector en la posterior, suelen tener un marco de aluminio. Existen cuatro tecnologías de producción comercial: monocristalino, policristalino, String Ribbon y película amorfa o delgada, cada una con eficiencias y costos variables.

**Paneles fotovoltaicos:** Integrados por uno o más módulos fotovoltaicos, estos son unidades preinstaladas y montables en campo. Su diseño modular permite la expansión del sistema según las necesidades cambiantes. Diferentes módulos pueden combinarse siempre que compartan una salida de voltaje nominal con una diferencia de 1.0 voltios.

**Matriz fotovoltaica:** Formada por paneles fotovoltaicos interconectados en serie y/o paralelo, suministra el voltaje y amperaje requeridos por un sistema específico. La matriz puede variar en tamaño, desde un par de módulos hasta una extensión que cubra varios acres. La elección del voltaje estándar (12, 24 o 48 voltios) depende del tamaño del sistema, siendo común utilizar 12 voltios para cargas de batería, 24 voltios para sistemas de 2000 a 7000 vatios-hora y 48 voltios para sistemas superiores a 7000 vatios-hora.

### Figura 5

*Matriz fotovoltaica solar eléctrica*



Nota : Santiesteban, E. (2020). Efecto fotovoltaico en un Panel Solar

**Tipos de radiación:**

1. **Radiación Directa:** Esta radiación proviene del disco solar y llega directamente a la superficie de la Tierra o a un dispositivo instalado en ella. La radiación directa nunca excede el 83% del flujo de energía extraterrestre original y se define como radiación de haz. Es susceptible de concentración solar.
2. **Radiación Difusa:** La radiación difusa se compone de la radiación dispersa y reflejada que llega a la superficie terrestre desde diversas direcciones, reflejada por

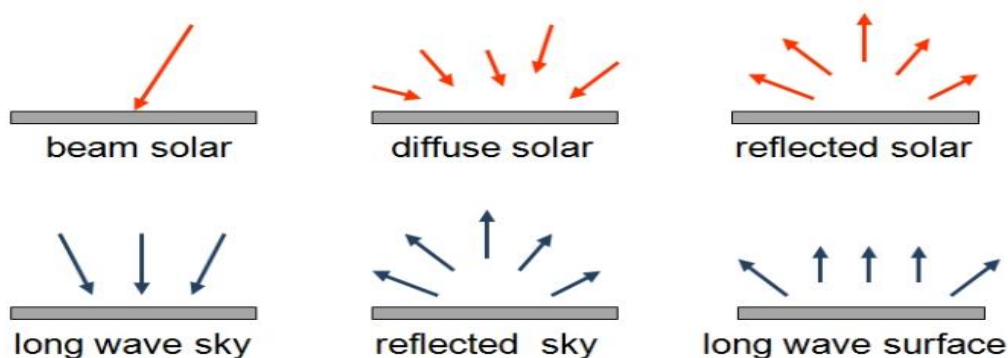


otros cuerpos, moléculas, partículas, gotas, entre otros. La suma de la radiación de haz y los componentes difusos constituye la radiación total o global. A diferencia de la radiación de haz, en muchos casos, la radiación difusa no puede concentrarse.

3. Radiación Total (Global): Es la suma de la radiación directa (de haz) y la radiación difusa. Este término engloba toda la energía radiante que alcanza la superficie terrestre.
4. Radiación de Onda Corta: Se encuentra en el rango de longitud de onda de 0.3 a 3  $\mu\text{m}$  y proviene directamente del sol. Incluye tanto componentes de haz como componentes difusos.
5. Radiación de Onda Larga: Con una longitud de onda de 3  $\mu\text{m}$  o más, esta radiación se origina en fuentes con temperaturas cercanas al ambiente, como la atmósfera, la superficie de la Tierra, colectores de luz y otros cuerpos.

### Figura 6

*Tipos de radiación en la superficie de la tierra*



Nota : Mark Fedkin - modified after Duffie and Beckman, 2013

### Bases conceptuales (operacionalización o categorización de las variables)

Tecnoeconomía: combina aspectos tecnológicos y económicos para evaluar y analizar la viabilidad de proyectos, procesos o tecnologías. En términos generales, se centra en el estudio de la relación entre la tecnología y la economía, considerando cómo las decisiones tecnológicas afectan los aspectos financieros y cómo los factores económicos influyen en el desarrollo y la adopción de nuevas tecnologías. La tecnoeconomía busca entender y optimizar la relación costo-beneficio de la implementación de tecnologías en diversos

contextos, ya sea en la industria, la investigación o cualquier otro ámbito donde la tecnología y la economía se entrelacen (García, Carmona, & León de la Rosa, 2022).

**Viabilidad Técnica:** de un proyecto o tecnología se refiere a la evaluación de su capacidad y posibilidad de implementación desde un punto de vista técnico. Este análisis se centra en determinar si es factible llevar a cabo el proyecto utilizando los conocimientos y las tecnologías disponibles. Se consideran aspectos como la disponibilidad de tecnologías adecuadas, la competencia técnica del equipo encargado y la superación de posibles desafíos técnicos que puedan surgir durante la ejecución del proyecto (OBS Business School, 2021)

**Viabilidad Económica:** se ocupa de evaluar si un proyecto o tecnología es rentable y financieramente sostenible a lo largo del tiempo. Este análisis se concentra en aspectos financieros, examinando los costos, beneficios, ingresos y gastos asociados con la implementación y operación del proyecto. La viabilidad económica busca determinar si el proyecto generará retornos económicos favorables y si su viabilidad financiera es sostenible a largo plazo (OBS Business School, 2021)

Dado esto puede verse que la viabilidad técnica se centra en la posibilidad técnica, la viabilidad económica se centra en la sostenibilidad financiera, y la tecnoeconomía integra ambos aspectos para lograr una implementación exitosa y eficiente desde el punto de vista técnico y económico.

**Energía Solar:** es la energía proporcionada por el sol en forma de radiación solar, lo que permite la generación de electricidad mediante células fotovoltaicas (PV). Las células fotovoltaicas, hechas principalmente de silicio altamente purificado, exhiben el "efecto fotovoltaico". Cuando la luz solar incide sobre estas células, los fotones excitantes de luz provocan el flujo de electrones, generando electricidad. Este proceso es esencial para la producción de electricidad solar, que es especialmente demandada durante el día, especialmente en climas cálidos cuando aumenta la necesidad de acondicionadores de aire. Además, la energía solar no emite contaminantes, y un megavatio hora de electricidad solar compensa aproximadamente 0.75 a 1 tonelada de CO<sub>2</sub> (Greenough River Solar Farm, 2017).

**Solarímetro:** es un dispositivo diseñado para medir la radiación solar en la superficie de la Tierra, especialmente útil en estudios meteorológicos para prever patrones climáticos. Colocado en una superficie plana expuesta a la radiación solar, los sensores del solarímetro miden la densidad y los cambios en la radiación solar a través de un amplio espectro

electromagnético. Este dispositivo detecta tanto la radiación directa como la difusa y utiliza sustancias químicas o instrumentos físicos para medir los niveles de fotones, abarcando desde la luz ultravioleta hasta las longitudes de onda visibles (National Oceanic & Atmospheric Administration, 2017).

Constante Solar: es la cantidad de energía solar ( $\text{W/m}^2$ ) a una incidencia normal fuera de la atmósfera terrestre a la distancia promedio entre el Sol y la Tierra. Se expresa como irradiancia, la energía solar total por unidad de tiempo y área fuera de la atmósfera. Medida por satélites, la constante solar incluye todos los tipos de radiación solar y se sitúa alrededor de 1.366 kilovatios por metro cuadrado ( $\text{kW/m}^2$ ). La irradiancia solar directa varía aproximadamente un 6.9% durante el año debido a la variación de la distancia al Sol (Kopp & Lean, 2011).

Tecnología Fotovoltaica: convierte la luz solar en energía eléctrica mediante materiales y dispositivos fotovoltaicos (PV). Las células fotovoltaicas individuales, que pueden producir alrededor de 1 o 2 vatios de potencia, se conectan en cadenas para formar módulos o paneles más grandes. La tecnología fotovoltaica utiliza semiconductores que exhiben el efecto fotovoltaico, convirtiendo la radiación solar en corriente eléctrica. La fuente de luz principal es la energía solar, y la tecnología fotovoltaica es la forma más conocida de convertir la radiación solar en electricidad utilizable (Fresh Squeeze, 2017).

Módulo Fotovoltaico o panel solar: es un conjunto de células fotovoltaicas conectadas entre sí para convertir directamente la luz solar en electricidad de corriente continua (CC). Estos módulos se pueden conectar en serie y/o en paralelo para proporcionar el voltaje y la corriente necesarios en un sistema particular. Es el componente esencial de cualquier sistema fotovoltaico, y varios módulos se pueden conectar a la red eléctrica como parte de un sistema fotovoltaico completo (Leonics, 2015).

Irradiación Solar: es la cantidad de energía luminosa de una cosa que golpea un metro cuadrado de otra por segundo. Esta energía, transportada por fotones, abarca desde rayos X hasta la luz visible y el infrarrojo. La irradiancia solar mide la salida de energía luminosa de todo el disco solar y varía según la distancia de la Tierra al Sol. Puede medirse para cualquier objeto brillante, incluyendo estrellas, la Luna o fuentes de luz terrestres. La irradiancia espectral solar examina el brillo de todo el Sol a una longitud de onda de luz específica (Garner, 2017).

**Célula Solar:** también conocida como célula fotovoltaica, la célula solar es un dispositivo que convierte directamente la energía de la luz en electricidad a través del efecto fotovoltaico. Principalmente fabricadas de silicio, las células solares se organizan en módulos o paneles para generar electricidad. A diferencia de las baterías o generadores eléctricos, las células solares no requieren reacciones químicas ni combustible, y su diseño modular permite construir sistemas fotovoltaicos para diversas necesidades de energía eléctrica (Raymond, Fonash, & Stephen, 2016).

**Inversor de Potencia:** los inversores de CC a CA convierten corriente continua (CC) en corriente alterna (CA) y son esenciales en sistemas fotovoltaicos para transformar la electricidad generada por las células solares en una forma utilizable. También conocidos como convertidores de CC a CA, los inversores de potencia permiten que la energía de CC de baterías o fuentes similares se convierta en la corriente de CA estándar para el hogar (Dankoff, 2001).

**Baterías Solares:** son dispositivos de almacenamiento que permiten guardar el exceso de energía solar generada durante el día para su uso posterior. Almacenar la electricidad es esencial para satisfacer la demanda durante la noche o en períodos de baja radiación solar. Esto evita desperdiciar o vender la energía no utilizada a la red eléctrica y permite a los usuarios mantenerse autosuficientes en términos energéticos (Solar Calculator, 2017).

**Amperios:** la corriente eléctrica, medida en amperios (A), es el flujo de electrones a través de un conductor. Cuanto mayor sea la corriente, mayor será la cantidad de electricidad que fluye. En términos sencillos, la corriente eléctrica se compara con el flujo de agua en un río, y la letra utilizada para representarla en ecuaciones es  $I$  (Ravado, 2017).

**Voltios:** es la unidad de medida del potencial eléctrico entre dos puntos de un conductor cuando una corriente de un amperio disipa un vatio de potencia entre esos puntos. En ecuaciones, se simboliza con la letra  $V$ . Se utiliza para describir la diferencia de potencial que permite que la electricidad fluya a través de un circuito y se mide en voltios (International Bureau of Weights and Measures, 2006).

**Ohms:** El ohmio es la unidad de medida de la resistencia eléctrica en un conductor cuando una diferencia de potencial constante de un voltio, aplicada a esos puntos, produce una corriente de un amperio. Se simboliza como  $\Omega$  y se utiliza para medir la resistencia en un circuito eléctrico (International Bureau of Weights and Measures, 2006).

Potencia Eléctrica (P): medida en vatios (W), es la velocidad a la que la energía eléctrica se convierte en otras formas, como movimiento, calor o un campo electromagnético. La potencia eléctrica se puede expresar como la tasa de flujo de energía por unidad de tiempo, y en ecuaciones, se simboliza como P. En los circuitos de corriente continua (CC) y alterna (CA), la potencia se relaciona con la tensión (voltios) y la corriente (amperios) (Rouse, 2008).

Seguidores Solares: nacen para maximizar la captación de radiación solar, asegurando que los paneles solares estén orientados perpendicularmente a la radiación. Existen dos tipos principales: de un solo eje y de dos ejes. Los de dos ejes son más eficientes, manteniendo la superficie del panel óptimamente orientada para recibir la máxima energía solar. Los seguidores utilizan controladores de lazo abierto o cerrado, y la relación inversa entre la intensidad de la luz y la resistencia es crucial para determinar la posición óptima de la fuente de energía solar (Abu Hanieh, 2010; Sharma & Tayal, 2018).

Diseño Mecánico-Eléctrico de Seguidores Solares: La mayoría de los seguidores se distinguen por el número de grados de libertad que poseen para un seguimiento más preciso. Los grados de libertad se refieren a las entradas independientes necesarias para posicionar los eslabones de un mecanismo respecto a su base. Los grados de libertad pueden calcularse utilizando la ecuación de Gruebler, proporcionando una medida de la movilidad de un mecanismo (Myszka, 2012).

Fórmula

$$M = 3(n - 1) - 2(jp) - (jh)$$

Donde:

$M$  = Grados de libertad

$n$  = Número total de eslabones en el mecanismo

$jp$  = Numero total de uniones principales (pernos, correderas)

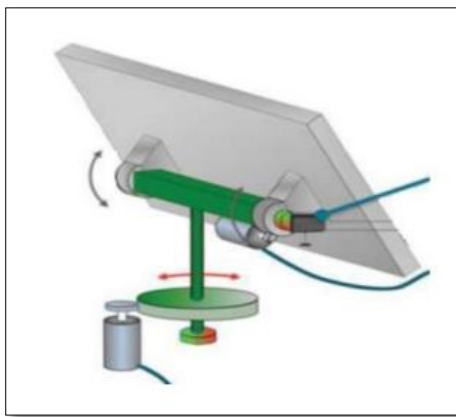
$jh$  = Número total de uniones de orden superior (levas o engranes)

Sharma & Tayal (2018) proponen un diseño mecánico para un seguidor solar de un solo eje, caracterizado por un grado de libertad. Este sistema incorpora sensores como LDR

y fotodiodos ubicados en la parte superior de la plataforma, destinados a captar la máxima cantidad de luz solar disponible. Cuando el sensor registra una elevada luminosidad, la resistencia del fotodiodo disminuye, lo que ocasiona la detención del motor en la posición con la mayor intensidad lumínica. En caso de que el fotodiodo no perciba luz, la plataforma se desplaza nuevamente en busca de la posición con la iluminación más intensa. En contraste (Jamroen et al., 2021) presentan un diseño de seguidor solar con dos grados de libertad, incorporando actuadores de desplazamiento lineal. Esta configuración posibilita que el seguidor se oriente en dos ejes, permitiendo una búsqueda más precisa de la mayor intensidad de luz disponible.

### Figura 7

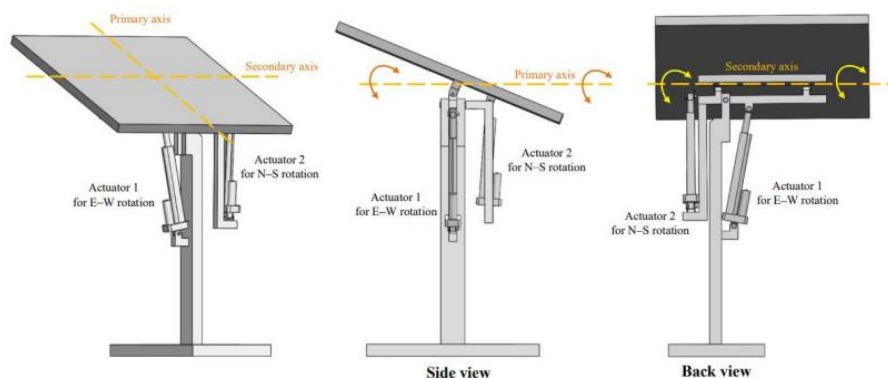
*Seguidor solar unidireccional de un eje*



Nota : Sharma, V., & Tayal, V. K. (2018).

### Figura 8

*Seguidor solar bidireccional, de dos ejes*



Nota : Jamroen et al. (2021)

### 2.3. Definición de términos

Constante Solar: se define como la cantidad de energía solar ( $\text{W}/\text{m}^2$ ) a una incidencia normal fuera de la atmósfera (extraterrestre) a la distancia promedio entre el Sol y la Tierra. Más específicamente, esta energía se define como irradiancia, la ración total de energía solar del sol por unidad de tiempo por unidad de área al espacio de la Tierra del Sol medida fuera de la atmósfera de la Tierra. Es la cantidad de radiación electromagnética solar entrante por unidad de área que incidiría en un plano perpendicular a los rayos, a una distancia de una unidad astronómica (AU) (aproximadamente la distancia media desde el Sol) a la tierra). Cuando la irradiancia solar se mide en el espacio exterior de la atmósfera de la Tierra, las mediciones se pueden ajustar utilizando la ley del cuadrado inverso para deducir la intensidad de la irradiancia solar a una AU y deducir la constante solar. Esta se mide por satélite a ser aproximadamente 1.366 kilo vatios por metro cuadrado ( $\text{kW}/\text{m}^2$ ). La irradiación solar directa real en la parte superior de la atmósfera fluctúa alrededor de 6.9% durante un año (de 1.412  $\text{kW}/\text{m}^2$  a principios de enero a 1.321  $\text{kW}/\text{m}^2$  a principios de julio) debido a la variando la distancia desde el Sol, y típicamente por mucho menos de una parte por mil día a día. (Kopp,G., & Lean,J, 2011).

La tecnología fotovoltaica convierte la luz solar en energía eléctrica utilizando materiales y dispositivos fotovoltaicos (PV). Una celda fotovoltaica individual, que es un dispositivo PV, produce típicamente 1 o 2 vatios de potencia. Para aumentar la potencia, las células se conectan en cadenas para formar módulos o paneles más grandes. Estos módulos pueden utilizarse individualmente o combinarse para crear arreglos más grandes, adaptándose a las necesidades de energía. Esta es una fuente verde que aprovecha la radiación solar para generar electricidad. En este proceso, los semiconductores utilizados en las células fotovoltaicas convierten la energía solar en corriente eléctrica mediante el efecto fotovoltaico. (Fresh,S, 2017)

El Módulo Fotovoltaico: Módulo PV o Módulo PV solar es un conjunto de células fotovoltaicas (PV), también conocidas como células solares. Para lograr un voltaje y una corriente requeridos, un grupo de módulos fotovoltaicos, que se conectan a un gran conjunto que llama matriz PV. Un módulo fotovoltaico es el componente esencial de cualquier sistema fotovoltaico que convierte la luz solar directamente en electricidad de corriente continua (CC). Los módulos fotovoltaicos se pueden conectar en serie y / o en paralelo para entregar voltaje y corriente en un sistema particular. (Leonics,C, 2015)

**Irradiación solar:** La irradiación es la cantidad de energía de luz de una cosa que golpea un metro cuadrado de otra por segundo. Los fotones que transportan esta energía tienen longitudes de onda desde rayos X y rayos gamma energéticos hasta luz visible hasta el infrarrojo y la radio. Se puede medir para cualquier objeto brillante, incluidas las estrellas, la Luna y los rayos altos excesivamente brillantes de un automóvil que se aproxima. Los seres humanos irradian principalmente luz infrarroja; ¡una imagen infrarroja de un humano muestra un corazón y una mente muy activos. Esta es la salida de energía de la luz de todo el disco del Sol, medido en la Tierra. Está mirando al Sol como si fuera una estrella en lugar de una imagen. Esta es una medida del brillo de todo el Sol a una longitud de onda de luz. Se observan importantes variaciones en muchas longitudes de onda, desde la visible e IR, pasando por la UV, hasta EUV y rayos X. Al observar la irradiación solar, debemos recordar que el clima espacial está relacionado con la ionización, mientras que el clima está relacionado con la absorción de calor. (Garner,R, 2017)

**La célula solar:** también llamada célula fotovoltaica, cualquier dispositivo que convierte directamente la energía de la luz en energía eléctrica a través del efecto fotovoltaico. La inmensa mayoría de las células solares están fabricadas de silicio, lo que aumenta la eficiencia y reduce los costos, ya que los materiales varían desde formas de silicio amorfo (no cristalino) a policristalino y cristalino (cristal único). A diferencia de las baterías o las pilas de combustible, las células solares no utilizan reacciones químicas ni requieren combustible para producir energía eléctrica y, a diferencia de los generadores eléctricos, no tienen partes móviles. Las células solares se pueden organizar en grandes grupos llamados matrices. Estas matrices, compuestas por muchos miles de células individuales, pueden funcionar como centrales eléctricas centrales, convirtiendo la luz solar en energía eléctrica para su distribución a usuarios industriales, comerciales y residenciales. Las células solares en configuraciones mucho más pequeñas, comúnmente denominadas paneles de células solares o simplemente paneles solares, han sido instaladas por los propietarios en sus tejados para reemplazar o aumentar su suministro eléctrico convencional. (Raymond,F,et al , 2016).

**Inversor de potencia:** Los inversores de CC a CA se utilizan para convertir corriente continua (CC) en corriente alterna (CA). También se conocen como convertidores de CC a CA. Los inversores de potencia de CC / CA convierten la alimentación de CC de una batería u otra fuente de alimentación (en su mayoría, 12 V CC) a la alimentación de CA estándar del hogar (110 V CA). Los inversores usan circuitos de oscilador para realizar la inversión



a través de una serie de pasos. El circuito de CC fluye por un extremo del circuito con un electroimán. Cuando la corriente golpea un imán, el imán se activa y el flujo de corriente cambia al otro lado del circuito cortando energía del electroimán. (Dankoff,W, 2001).

**Baterías solares:** Esencialmente, una batería solar es un dispositivo de almacenamiento para el exceso de energía solar. Durante el día, solo puedes usar una fracción de la energía solar disponible que genera tu sistema. Sin una forma externa de capturar toda esta energía solar no utilizada, la está tirando o vendiéndola a la red eléctrica. Una batería solar le permite almacenar electricidad para su uso por la noche, durante los momentos de gran consumo de energía u otros períodos de tiempo en los que no puede tener tanta luz solar como necesita para mantenerse al día con sus demandas de energía. (Solar Calculator, 2017).

**Amperios:** La electricidad consiste en el flujo de electrones a través de un conductor, como un cable eléctrico. No puedes ver los electrones, pero una analogía útil es pensar en la electricidad como el flujo de agua a través de una tubería. Medimos la tasa de flujo de electricidad como una corriente eléctrica (del mismo modo que pensamos en la tasa de flujo de agua en un río como la corriente del río). La corriente eléctrica se mide en amperios, acortado a amperios o simplemente la letra A. Una corriente de 2 amperios se puede escribir como 2A. Cuanto mayor es la corriente, más electricidad está fluyendo. (Ravado,R, 2017).

**Voltios:** Un voltio se define como la diferencia en el potencial eléctrico entre dos puntos de un cable conductor cuando una corriente eléctrica de un amperio disipa un vatio de potencia entre esos puntos. También es igual a la diferencia de potencial entre dos planos paralelos e infinitos espaciados a 1 metro de distancia que crean un campo eléctrico de 1 Newton por culombio. Además, es la diferencia de potencial entre dos puntos que impartirá un joule de energía por coulomb de carga que pasa a través de él. Se puede expresar en términos de unidades base SI (m, kg, s y A). (International Bureau of Weights and Measures, 2006).

$$V = \frac{\text{potencial energy}}{\text{charge}} = \frac{N \cdot m}{C} = \frac{kg \cdot m^2}{A \cdot s^2}$$

**Ohms:** El ohmio se define como una resistencia eléctrica entre dos puntos de un conductor cuando una diferencia de potencial constante de un voltio, aplicada a estos puntos, produce en el conductor una corriente de un amperio, el conductor no es el asiento de ninguna fuerza electromotriz. (International Bureau of Weights and Measures, 2006).

$$\Omega = \frac{V}{A} = \frac{1}{S} = \frac{W}{A^2} = \frac{V^2}{W} = \frac{s}{F} = \frac{J \cdot s}{C^2} = \frac{kg \cdot m^2}{C^2 \cdot s} = \frac{J}{A^2 \cdot s} = \frac{kg \cdot m^2}{A^2 \cdot s^2}$$

Potencia eléctrica: Es la velocidad a la que la energía eléctrica se convierte a otra forma, como el movimiento, el calor o un campo electromagnético. El símbolo común de potencia es la letra P mayúscula. La unidad estándar es el vatio, simbolizado por W. En los circuitos de utilidad, a menudo se especifica el kilovatio (kW); 1 kW = 1000 W. Un vatio es la potencia resultante de un proceso de disipación, conversión o almacenamiento de energía equivalente a un joule por segundo. Cuando se expresa en vatios, la potencia a veces se denomina potencia. La potencia en un circuito de corriente continua (CC) es igual al producto de la tensión en voltios y la corriente en amperios. Esta regla también se aplica a los circuitos de corriente alterna (CA) de baja frecuencia en los que la energía no se almacena ni se libera. A altas frecuencias de CA, en las que la energía se almacena y libera (así como también se disipa o convierte), la expresión de potencia es más compleja. (Rouse, M, 2008).

Baterías Solares: Son dispositivos de almacenamiento que permiten guardar el exceso de energía solar generada durante el día para su uso posterior. Almacenar la electricidad es esencial para satisfacer la demanda durante la noche o en períodos de baja radiación solar. Esto evita desperdiciar o vender la energía no utilizada a la red eléctrica y permite a los usuarios mantenerse autosuficientes en términos energéticos (Solar Calculator, 2017).

Amperios: La corriente eléctrica, medida en amperios (A), es el flujo de electrones a través de un conductor. Cuanto mayor sea la corriente, mayor será la cantidad de electricidad que fluye. En términos sencillos, la corriente eléctrica se compara con el flujo de agua en un río, y la letra utilizada para representarla en ecuaciones es I (Ravado, 2017).

Irradiación Solar: es la cantidad de energía luminosa de una cosa que golpea un metro cuadrado de otra por segundo. Esta energía, transportada por fotones, abarca desde rayos X hasta la luz visible y el infrarrojo. La irradiancia solar mide la salida de energía luminosa de todo el disco solar y varía según la distancia de la Tierra al Sol. Puede medirse para cualquier objeto brillante, incluyendo estrellas, la Luna o fuentes de luz terrestres. La irradiancia espectral solar examina el brillo de todo el Sol a una longitud de onda de luz específica (Garner, 2017)

## CAPITULO III: MARCO METODOLÓGICO

### 3.1. Diseño y tipo de investigación

De diseño no experimental, dado que no se procedió a manipular las variables de análisis, ni se procederá a realizar experimentos. De enfoque cuantitativo, puesto que se procedió a representar la información representada en tablas y graficos. De tipo propositivo, ya que se realizó una propuesta para la mejora de las condiciones de vida en el caserío Rama Serquen en Lambayeque. De corte transversal, ya que la información recopilada se compiló en un tiempo breve.

### 3.2.Población y muestra

#### 3.2.1. Población

La población en nuestro estudio fué el universo de habitantes del caserío Rama Serquen en Lambayeque, siendo estos igual a 170 habitantes residentes en 34 viviendas.

**Tabla 3**

*Tamaño de población por vivienda del caserío Rama Serquén*

N.º	LOCALIDADES	POBLACIÓN	VIVIENDAS	HAB/VIV.
1	Rama Serquén	170	34	5
TOTAL		170	34	

Nota: total de población y viviendas del caserío rama Serquén

#### 3.2.2. Muestra

Se tomaron las 34 viviendas que existen en el caserío Rama Serquén ubicado en el distrito de Ferreñafe.

#### Operacionalización de las variables:

##### Variable independiente:

Tecnoeconomía: es la capacidad de un proyecto para ser implementado y operado de manera que alcance sus objetivos. En este contexto, se entiende como un proyecto que puede

mantenerse a lo largo del tiempo, siendo económicamente rentable, como señala Cámara Oviedo (2020).

**Variable dependiente:**

Sistema fotovoltaico con seguidores solares, sistema destinado al suministro de energía eléctrica se define como un conjunto integral de recursos y componentes esenciales que se requieren para la generación, transporte y distribución de electricidad, según la descripción de Méndez y Cuervo (2007, p. 28).

**Tabla 4**

*Matriz de Operacionalización de variables*

Variable	Definición conceptual	Definición Operacional	Dimensiones	Indicadores	Escala de medición
V1: tecnología economía	Es la posibilidad que tiene un proyecto para ser ejecutado y operado de tal manera que cumpla con su objetivo. Se debe entender como un proyecto que puede ser sostenible, rentable económicamente. (Cámara Oviedo, 2020)	Se evaluará mediante la eficiencia del sistema, su capacidad de generación y su vida útil, lo que indica cuánta energía se puede aprovechar a lo largo del tiempo. Para lo cual Incluye el costo inicial de implementación, el ahorro anual en costos de energía y el periodo de retorno de la inversión, permitiendo determinar si la inversión en el sistema fotovoltaico es económicamente viable.	Viabilidad Técnica	Eficiencia del Sistema	De razón
				Capacidad de Generación	
				Vida Útil del Sistema	
			Viabilidad Económica	Costo Inicial de Implementación	Ahorro Anual de Costos Energéticos
				Periodo de Retorno de la Inversión (ROI)	

V2:  Sistema Fotovoltaico con seguidores solares	Conjunto de medios y elementos que son necesarios para generar transportar y distribuir la electricidad (Méndez y Cuervo, 2007, p. 28).	Se diseñará de modo eficiente el sistema fotovoltaico propuesto en función de la cantidad de energía eléctrica necesaria para el sistema en condiciones normales, expresada en kilovatios (kW) o megavatios (MW). El espacio físico requerido para la instalación de los paneles solares, medido en metros cuadrados (m <sup>2</sup> ), los ángulos ideales para la instalación de los paneles solares, maximizando la captación de energía solar.	Diseño del Sistema Fotovoltaico	Potencia de Salida  Superficie Necesaria  Orientación e Inclinación Óptima  Uso de Seguidores solares	De razón
---	---	--	---------------------------------	---	----------

Nota: Elaboración propia

### **3.3. Técnicas, instrumentos, equipos, materiales de investigación**

Entrevistas: se realizará consultas a los miembros de las unidades de viviendas del caserío Rama Serquen sobre las necesidades de electrificación en la zona. Esto se realizará mediante un cuestionario de preguntas (Angus & Katona, 1953)

Revisión bibliográfica: Se analizarán los documentos correspondientes a las actividades destinadas a llevar electricidad en la zona, así como trabajos previos realizados que presenten relación con nuestra investigación. (Isern, Segura, & Aguilar, 2012)

Validez: se buscará determinar que los instrumentos utilizados por nuestro estudio se encuentren validados por expertos en el campo de análisis.

Confiabilidad: se refiere al grado en que la aplicación del instrumento puede generar consistentemente los mismos resultados y la precisión que nos permite evaluar la consistencia de los instrumentos utilizados en el estudio. (Chávez y Rodríguez, 2018).

0,66 – 0,71 Muy confiable

0,72 – 0,99 Excelente confiable

1,0 confiable perfecto. Chavez y Rodriguez (2018).

### **3.4. Análisis estadísticos e interpretación de los datos**

La información obtenida será procesada de un modo estadístico, para ello se hará uso de software como Excel y SPS Version 26. Esto nos permitirá explicar los datos procesados de un modo adecuado, permitiendo obtener conclusiones de un modo claro y conciso.

### **3.5. Aspectos éticos**

Se respetarán los derechos del autor, se tendrá en cuenta la invulnerabilidad de los derechos de autor que indica el Decreto Legislativo N. 822 – 1996. Así mismo se cumplirá las autorizaciones y permisos correspondientes para tomar el material que sea usado para la presente investigación. El material de referencia que será usado en esta investigación será respectivamente citado siguiendo los estándares ISO 690 y 690-2, respectivamente. En el caso de las visitas al centro poblado se mantendrá el respeto a sus pobladores. En el caso de entrevistas a los pobladores se las hará con cordialidad y sin vulnerar sus derechos.

## CAPITULO IV. ANALISIS E INTERPRETACION DE RESULTADOS

### 4.1. Análisis Tecnoeconómicos – Financiero

El presente proyecto se basó en el diseño de una minicentral solar fotovoltaica con seguidores solares para abastecer energía eléctrica al caserío Rama Serquen, en el distrito de Ferreñafe. A continuación, se procederá a resolver los objetivos propuestos para su desarrollo.

En relación con el objetivo específico 1, se analizaron las necesidades energéticas de la comunidad de Rama Serquén, compuesta por 34 viviendas y 170 habitantes sin acceso a electricidad. Según Osinergmin, el consumo promedio de una familia en Perú es de 93 kWh mensuales, considerando tanto zonas urbanas como rurales, incluyendo comunidades con acceso limitado a la red eléctrica y aquellas que dependen de fuentes alternativas (Auto Solar, 2024). El costo mensual de electricidad varía entre S/31 y S/140, con un promedio de S/0.67 por kWh, lo que representa un gasto aproximado de S/60 mensuales (Banco de Reserva del Perú, 2023). Durante visitas técnicas a Rama Serquén, se identificó que las familias carecen de servicios esenciales como iluminación, refrigeración y comunicación. El 10% de los habitantes utiliza velas, el 85% lámparas, y el 5% linternas u otros dispositivos a pilas. Además, el 90% de los habitantes usa medios de iluminación entre 3 y 4 horas diarias.

**Tabla 5**

*Necesidades de energía eléctrica de los habitantes*

Necesidad	Importancia
• De iluminación	Permite a los individuos realizar a cabo diversas actividades y acciones productivas.
• De refrigeración	Permite a los habitantes de una comunidad, refrigerar y conservar en buen estado sus alimentos, bebidas, entre otras cosas.
• De Comunicación	Permite a las personas poder procesar e intercambiar información necesaria para realizar actividades del día a día y también transmitir emociones.

Nota: Análisis de gastos de iluminación por cada habitante



## Evaluación Inicial de la Demanda Energética

- Población Total: 170 habitantes.
- Número de Abonados Domésticos: 34 abonados.
- Personas por Hogar:  $170 / 34 \approx 5$ .

Cálculo del Consumo de Energía por Abonado

**Tabla 6**

*Estimación de la potencia y el uso diario de los dispositivos eléctricos en cada hogar.*

Descripción	Unid.	Potencia (W)	Potencia Total (W)	Uso diario (h)	Energía (Wh-día)	Energía (kWh- mes)
Televisor	1	50	50	1	50	1,50
Radio	1	30	30	2	60	1,80
Iluminación Interior	4	15	60	4	240	7,20
Cargador de celular	1	1	1	1,5	1,5	0,05
Equipo de Computo	1	90	90	1	90	2,70
Total			231		441,5	13,25

Nota: Elaboración propia

- Máxima Demanda Total (MDT) por abonado:  $231\text{W} = 0,231\text{ kW}$ .
- Consumo de Energía Total (kWh/d) por abonado:  $441.5\text{Wh/d} = 0,442\text{kWh/d}$

## Proyección de la Población en 20 Años

*Fórmula de Proyección Poblacional*

La fórmula utilizada para calcular la proyección poblacional es:

$$P_x = P_0 * (1+r)^n$$

Donde:

- $P_x$  = Población proyectada al año x
- $P_0$  = Población inicial
- $r$  = Tasa de crecimiento anual ( $1\% = 0.01$ )
- $n$  = Número de años

### Datos Iniciales:

- Población inicial (POP\_0P0): 170 personas
- Tasa de crecimiento (r): 0.01
- Horizonte temporal (n): 20 años

### Cálculo del Crecimiento Poblacional:

- Utilizamos la fórmula mencionada para calcular la población proyectada.

### Cálculo para 20 Años:

$$P_{20} = 170 \times (1 + 0.01)^{20}$$

$$P_{20} = 170 \times (1.01)^{20}$$

$$P_{20} \approx 170 \times 1.22019$$

$$P_{20} \approx 208$$

### Tabla 7

*Proyección de habitantes en un horizonte de 20 años.*

Año	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033
Población	170	172	174	176	178	180	182	184	186	188
Año	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040	2041	2042	2043
Población	190	192	194	196	198	200	202	204	206	208

Nota: Elaboración propia

Como puede verse en el análisis para el año 2043, habrá un incremento poblacional equivalente al 22,35%, estos valores son de gran importancia para la investigación dado que deberán ser considerados por el incremento del consumo a futuro.

### Cálculo de la Demanda Energética Total

**Tabla 8**

*Consumo unitario de energía anual por abonado por el número de abonados.*

Localidad	Consumo de energía por abonado doméstico (Kwh- Mes)	Abonado	Consumo Unitario (kWh-año)	Cantidad Abonados	Total (kWh- año)
Caserío X	13,25	Doméstico	160,2	34	5446,8

Nota: Elaboración propia

De la presente tabla establecemos el consumo unitario por abonado doméstico proyectado, para esto tomaremos el mayor porcentaje dado que es la situación menos favorable y de mayor consumo a futuro, el mismo tendrá un horizonte de 20 años.

$$CUAD \text{ Proyectado} = CUAD_{\text{inicial}} * (1 + i\%)$$

Dónde:

i: Tasa de crecimiento de los consumos de energía por abonado doméstico= 2%

CUAD proyectado: consumo unitario por abonado doméstico proyectado

CUAD Inicial: consumo unitario por abonado doméstico inicial

Para el análisis se ha determinado que cada una de las viviendas consume 13,25 kWh/mes. El consumo anual por vivienda es de 160,2 kWh/año. A este promedio debe sumarse el incremento del 2% anual establecido. Cabe destacar que el índice de pérdidas de energía del 12% no será contemplado, ya que el mismo será adoptado para la estimación de la energía total requerida.

## Aumento del Consumo

El porcentaje de aumento del consumo de energía por vivienda al final del período es calculado como:

$$Aumento \% = 100 * \frac{CUAD_{proyectado\ final} - CUAD_{inicial}}{CUAD_{inicial}} =$$

$$Aumento \% = 100 * \frac{233.0 - 160.2}{160.2} = 45.25\%$$

Se observa que para el año 2043, habrá un incremento en el consumo de energía por vivienda equivalente al 45.5%. Estos valores son de gran importancia para la investigación, dado que con ello se determinó la viabilidad de la propuesta.

**Tabla 9**

*Consumo de energía del caserío proyectado a 20 años*

Año	Consumo Anual por Vivienda (kWh/año)	NAD	CUAD Inicial (kWh/año)	CUAD Proyectado (kWh/año)
2024	5446.8	34	160.2	160.2
2025	5606.8	35	160.2	163.4
2026	5761.2	36	160.2	166.7
2027	5910	37	160.2	170
2028	6053.2	38	160.2	173.4
2029	6190.8	39	160.2	176.9
2030	6322.8	40	160.2	180.4
2031	6449.2	41	160.2	184
2032	6569.9	42	160.2	187.6
2033	6685	43	160.2	191.4
2034	6794.4	44	160.2	195.2
2035	6898.2	45	160.2	199
2036	6996.2	46	160.2	203
2037	7088.6	47	160.2	207
2038	7175.2	48	160.2	211.1
2039	7256.1	49	160.2	215.3
2040	7331.2	50	160.2	219.6
2041	7400.6	51	160.2	224
2042	7464.2	52	160.2	228.4
2043	7522	53	160.2	233

Nota: Elaboración propia

**Tabla 10***Consumo mensual de alumbrado público Actual*

Sector Típico	Distribución KALP (kWh/usuario mes)	Potencia de lámpara vapor de sodio (W)	Total, Mensual (kWh/mes)	Total, Anual (kWh/año)
SER	6,3	60	214,2	2568

Nota: Elaboración propia

Donde:

SER: Sector de Distribución Típico Sistemas Eléctricos Rurales

KALP: Factor de AP en kW h/usuario-mes

PI: Puntos de iluminación

CMAF: Consumo mensual de alumbrado público en kW h

NTA: Número total de abonados

CMAF = 6,3 x 53 CMAF = 350 kW h/mes Dónde:

Célula fotoeléctrica= 360

$$PI \text{ Actual} = \frac{CMAF * 1000}{360 * 60} = \frac{214 * 1000}{360 * 60} = 9.9 = 10 \text{ Puntos de iluminación}$$

**Tabla 11***Consumo de energía de alumbrado público proyectado a 20 años*

Año	KALP Kw-h/ usuario mes	NAD	CUAD inicial (kWh/ mes)	CUAD Proyectado (kWh/ año)	PI
2024	6,3	34	215	2580	10
2025	6,3	35	221	2652	11
2026	6,3	36	227	2724	11
2027	6,3	37	233	2796	11
2028	6,3	38	239	2868	12
2029	6,3	39	246	2952	12
2030	6,3	40	252	3024	12
2031	6,3	41	258	3096	13
2032	6,3	42	264	3169	13
2033	6,3	43	271	3252	13
2034	6,3	44	277	3324	14
2035	6,3	45	283	3396	14
2036	6,3	46	290	3480	14
2037	6,3	47	296	3552	15
2038	6,3	48	302	3624	15
2039	6,3	49	308	3696	15
2040	6,3	50	315	3780	16
2041	,63	51	321	3852	16
2042	6,3	52	327	3924	16
2043	6,3	53	334	4008	17

Nota: Elaboración propia

$$Aumento \% = 100 * \frac{4008 - 2580}{2580} = 55.35\%$$

Se observa que para el año 2043, habrá un incremento en el consumo de energía por vivienda equivalente al 62,7%, estos valores son de gran importancia para la investigación dado que con ello se determinó la viabilidad de la propuesta. Como puede verse, en el futuro se requerirán para las 53 unidades de viviendas proyectadas 17 puntos de iluminación.

### **Pronóstico de Máxima Demanda y Consumo de Energía Eléctrica**

Para ello consideramos:

Porcentaje de pérdidas de energía: 7%

Factor de carga 20%

Energía Total Requerida (Kwh-Año) = Consumo Total / (1-% Perdidas)

Máxima Demanda (Kw) = Energía Total Requerida / (Fc \* 8760)

**Tabla 12**

*Consumo de energía de viviendas del caserío proyectado a 20 años*

Año	Consumo anual por vivienda anual	Consumo alumbrado público anual	Consumo total de energía (kWh/ año)	Energía total requerida (kWh/ año)	Máxima demanda kW
2024	5446.8	2580	8026.8	10033.5	5.73
2025	5606.8	2652	8258.8	10323.5	5.88
2026	5761.2	2724	8485.2	10606.5	6.04
2027	5910	2796	8706	10882.5	6.2
2028	6053.2	2868	8921.2	11151.5	6.36
2029	6190.8	2952	9142.8	11428.5	6.53
2030	6322.8	3024	9346.8	11683.5	6.69
2031	6449.2	3096	9545.2	11931.5	6.85
2032	6569.9	3169	9738.9	12173.625	7.01
2033	6685	3252	9937	12421.25	7.17
2034	6794.4	3324	10118.4	12648	7.3
2035	6898.2	3396	10294.2	12867.75	7.45
2036	6996.2	3480	10476.2	13095.25	7.6
2037	7088.6	3552	10640.6	13300.75	7.73
2038	7175.2	3624	10799.2	13499	7.87
2039	7256.1	3696	10952.1	13690.125	8.01
2040	7331.2	3780	11111.2	13889	8.15
2041	7400.6	3852	11252.6	14065.75	8.29
2042	7464.2	3924	11388.2	14235.25	8.42
2043	7522	4008	11530	14412.5	8.56

Nota: Elaboración propia

**Dimensionamiento del sistema fotovoltaico modular:** Para ello, se utilizará el Código Nacional de Electricidad del año 2006

### 1. Determinación de la radiación solar diaria:

#### Recopilación de datos meteorológicos:

- Fuente: Perú Datos solares (2023).
- Mes con menor radiación solar: Junio con 4.70 kWh/m<sup>2</sup>/día.
- Condiciones de diseño: Utilizar la radiación solar mínima para asegurar eficiencia en peores condiciones.

### 2. Orientación y Ángulo de Inclinación de los Paneles

**Tabla 13**

*Angulo de orientación de los paneles en el caserío Rama Serquen*

Meses/ Orientación											
Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sept.	Octubre	Nov.	Dic.
181.78	180.79	178.22	176.66	175.76	176.73	177.57	176.84	167.94	180.94	178.69	177.63

Nota: SENAMHI

La tabla indica el ángulo de acimut óptimo para maximizar la eficiencia de la central solar, que es de 177,63° respecto al norte. Estos datos se obtuvieron utilizando el programa Sun Earth Tools, que proporciona la posición del sol durante todo el año. La inclinación  $\beta$ . Dado que la central suministra energía a viviendas durante todo el año se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$\beta = \phi + 10^\circ$$

$$\beta = 6^\circ, 21' + 10^\circ$$

$$\beta = 16^\circ, 21'$$

Donde:

$\phi$ : latitud del lugar de la central.



### **Estimación de la radiación solar en el caserío**

De acuerdo con el Atlas Solar del Perú, elaborado por el Ministerio de Energía y Minas, el país presenta un considerable potencial para la energía fotovoltaica. Las tasas de irradiación en la costa norte oscilan entre 5,5 y 6,5 kWh/m².

**Cálculo de los Módulos Fotovoltaicos:** Para ello, se utilizará el Código Nacional de Electricidad del año 2006

Energía diaria a distribuir en el año 20: 39.48 kWh/día (Tabla 12)

$$Energía\ total\ requerida = \frac{14412.5}{365} = 39.48\ kWh/día$$

Factores de pérdida

- Pérdida por rendimiento en la batería (Kb): 0.05
- Pérdida en el inversor (Kc): 0.05
- Pérdidas diversas (Kv): 0.05
- Pérdidas por auto descarga (Ka): 0.005
- Profundidad de descarga de la batería (PD): 0.8
- Número de días de autonomía (N): 4

### **Cálculo de la Energía a Distribuir en Corriente Alterna (Lmd, AC)**

$$R = 1 - [(1 - 0.05 - 0.05 - 0.05) * 0.005 * 4 / 0.8] - 0.05 - 0.05 - 0.05$$

$$R = 1 - [0.85 \cdot 0.005 \cdot 5] - 0.15$$

$$R = 1 - [0.02125] - 0.15$$

$$R = 0.82875$$

Cálculo de Lmd AC= ET20R

$$LmdAC = \frac{39.48 kWh/día}{0.82875} = 47.64\ kWh/día$$

#### 4. Cálculo de la energía total a distribuir (Lmd):

- Parámetros:
  - Eficiencia del inversor ( $\eta_{inv}$ ): 0.90
  - Eficiencia batería ( $\eta_{bat}$ ): 0.90
  - Eficiencia conexiones ( $\eta_{con}$ ): 0.90
- Resultado:  $Lmd = Lmd, AC / (\eta_{inv} \cdot \eta_{bat} \cdot \eta_{con})$

$$Lmd = \frac{47.64 \text{ kWh/día}}{0.9 * 0.9 * 0.9} = 59.91 \text{ kWh/día}$$

#### Cálculo del Número de Módulos (Nmód)

Energía Real a Distribuir ( $Lmd$ ): 59.91 kWh/día

Potencia de cada Módulo ( $PMP$ ): 500 Wp

Hora Pico Solar Crítica ( $HPSCRIT$ ): 4 horas

Eficiencia de cada Panel ( $PR$ ): 0.9

$$EP = PMP * HPSCRIT * PR$$

$$EP = 500 \text{ Wp} * 4 \text{ horas} * 0.9$$

$$EP = 1800 \text{ Wh/día}$$

$$N \text{ modulos} = \frac{59.91 \text{ kWh/día}}{1.8 \text{ kWh/día}} = 33.28 = 34 \text{ Paneles}$$

Por lo tanto, se necesita 34 módulos de paneles solares de 500 Wp para satisfacer la demanda diaria de 59,91 kWh en el proyecto de diseño de planta fotovoltaica.

**Figura 9**

*Especificaciones Técnicas del Panel Solar 500W Deep Blue 3.0 JA Solar*

MECHANICAL DIAGRAMS

Remark: customized frame color and cable length available upon request

SPECIFICATIONS

Cell	Mono
Weight	26.3kg
Dimensions	2093±2mm×1134±2mm×30±1mm
Cable Cross Section Size	4mm² (IEC) , 12 AWG(UL)
No. of cells	132(6×22)
Junction Box	IP68, 3 diodes
Connector	MC4-EVO2/QC 4,10-35
Cable Length (Including Connector)	Portrait: 200mm(+)/300mm(-); Landscape: 1200mm(+)/1200mm(-)
Packaging Configuration	36pcs/Pallet 792pcs/40HQ Container

ELECTRICAL PARAMETERS AT STC

TYPE	JAM66S30 -480/MR	JAM66S30 -485/MR	JAM66S30 -490/MR	JAM66S30 -495/MR	JAM66S30 -500/MR	JAM66S30 -505/MR
Rated Maximum Power(Pmax) [W]	480	485	490	495	500	505
Open Circuit Voltage(Voc) [V]	45.07	45.20	45.33	45.46	45.59	45.72
Maximum Power Voltage(Vmp) [V]	37.62	37.81	37.99	38.17	38.35	38.53
Short Circuit Current(Isc) [A]	13.65	13.72	13.79	13.86	13.93	14.00
Maximum Power Current(Imp) [A]	12.76	12.83	12.90	12.97	13.04	13.11
Module Efficiency [%]	20.2	20.4	20.6	20.9	21.1	21.3
Power Tolerance	0~+5W					
Temperature Coefficient of Isc(α <sub>Isc</sub> )	+0.045%/°C					
Temperature Coefficient of Voc(β <sub>Voc</sub> )	-0.275%/°C					
Temperature Coefficient of Pmax(γ <sub>Pmp</sub> )	-0.350%/°C					
STC	Irradiance 1000W/m², cell temperature 25°C, AM1.5G					

Remark: Electrical data in this catalog do not refer to a single module and they are not part of the offer.They only serve for comparison among different module types.

ELECTRICAL PARAMETERS AT NOCT

TYPE	JAM66S30 -480/MR	JAM66S30 -485/MR	JAM66S30 -490/MR	JAM66S30 -495/MR	JAM66S30 -500/MR	JAM66S30 -505/MR
Rated Max Power(Pmax) [W]	363	367	370	374	378	382
Open Circuit Voltage(Voc) [V]	42.15	42.30	42.43	42.58	42.72	42.86
Max Power Voltage(Vmp) [V]	35.54	35.67	35.76	35.84	35.93	36.02
Short Circuit Current(Isc) [A]	10.99	11.06	11.13	11.20	11.27	11.34
Max Power Current(Imp) [A]	10.21	10.28	10.36	10.44	10.52	10.60
NOCT	Irradiance 800W/m², ambient temperature 20°C, wind speed 1m/s, AM1.5G					

OPERATING CONDITIONS

Maximum System Voltage	1000V/1500V DC
Operating Temperature	-40 °C ~+85 °C
Maximum Series Fuse Rating	25A
Maximum Static Load Front*	5400Pa(112lb/ft²)
Maximum Static Load Back*	2400Pa(50lb/ft²)
NOCT	45±2 °C
Safety Class	Class II
Fire Performance	UL Type 1

\*For NexTracker installations, Maximum Static Load, Front is 2400Pa while Maximum Static Load, Back is 2400Pa.

Nota: Tomado del manual de especificaciones técnicas del panel solar Deep Blue

## Conexión de los paneles solares

### Conexión serie

Tensión nominal de la batería, VBAT= 24 V

Tensión nominal de los módulos solares, VPANEL =37.9 V

$$N_s = \frac{V_{BAT}}{V_{PANEL}} = \frac{24 \text{ V}}{37.9 \text{ V}} = 0.633 = \text{Redondeamos a } 1$$

Para un sistema con una batería de 24V y módulos solares de 37.9V, se conectará 1 módulo en serie. Así mismo, se utilizará un controlador de carga MPPT que maneje la diferencia de tensión y optimizar la carga de la batería.

**Cálculo del número de paneles en paralelo (Np):**

$$N_p = \frac{N_t}{N_s} = \frac{34}{1} = 34$$

Dónde:  $N_s$ : Número de módulos en serie

$N_t$ : Número total de paneles.

El número total de paneles se obtiene de multiplicar el número de paneles en serie por el número de paneles en paralelo

**Número total de paneles solares (Ntotal)**

Número de módulos en serie = 1

Número de módulos en paralelo = 34

$$N_{total} = N_p * N_s = 34 * 1 = 34 \text{ paneles}$$

**Selección del Regulador de Carga:** Para ello, se utilizará el Código Nacional de Electricidad del año 2006

**Corriente de entrada al Regulador**

$$I_{SC} = \frac{P_{MOD}}{V_{PANEL}} = \frac{500 \text{ Wp}}{37.9 \text{ V}} = 13.9A$$

Donde:

$I_{SC}$  = Corriente del modulo

$N_p$  = Número de Paneles

Factor de seguridad para evitar daños ocasionales al Regulador: 1,25

Corriente de salida del Regulador

$N_{inv.}$  = Eficiencia del Inversor= 0.90.

$V_{BAT}$  = Voltaje de la Batería= 24V

Potencia de cada módulo ( $P_{MOD}$ ): 500 Wp

Tensión nominal del módulo (VPANEL): 37.9 V

El número de reguladores necesarios para instalar vendrá dado por la siguiente expresión:

$$N_{\text{reguladores}} = \frac{I_{\text{entrada, Reg}}}{I_{\text{MAX, e}}}$$

Dónde:

$I_{\text{entrada, reg}}$  = Corriente de entrada al regulador

$I_{\text{max, e}}$  = Intensidad máxima de entrada del regulador

N reguladores: Número de reguladores.

$$I_{\text{entrada, reg}} = I_{\text{MOD, SC}} * N_p * \text{Factor de seguridad}$$

$$I_{\text{entrada, reg}} = 13.9A * 34 * 1.25 = 560.58 A$$

Para nuestro caso de estudio utilizaremos el siguiente tipo de regulador de carga:  
Controlador MPPT 250V 100A LCD 12/24/48V

Corriente máxima de carga: Hasta 100 A

Voltaje máximo de entrada: 150 V

Eficiencia: Hasta 99%

Características adicionales: Bluetooth integrado, monitorización remota, protección avanzada.

$$N_{\text{reguladores}} = \frac{560.58A}{I_{\text{MAX, e}}} = \frac{560.58A}{100 A} = 5.6 \text{ reguladores de carga}$$

Dado esto, requeriremos 6 reguladores de carga para el desarrollo de la propuesta.

**Figura 10**

*Especificaciones Técnicas del Controlador MPPT 250V 100A LCD 12/24/48V*

**MPPT Solar Charge Controller**

**MC4885N15/MC48100N15/MC4885N25/MC48100N25**

**Product Accessories**

RM-7 display, USB to TTL cable, BTS temperature sensor.



**Product Parameters**

Model	SR-MC4885N15	SR-MC48100N15	SR-MC4885N25	SR-MC48100N25
System voltage	12V/24/36/48V			
Static power consumption	0.54W			
Maximum input voltage of solar energy (25°C)	150V		250V	
Voltage Range at MPP (Maximum Power Point)	Battery voltage +2~ 120V		Battery voltage +2~ 180V	
Charging current	85A	100A	85A	100A
Solar panel power (12V battery)	1100W	1300W	1100W	1300W
Solar panel power (24V battery)	2200W	2600W	2200W	2600W
Solar panel power (48V battery)	4400W	5200W	4400W	5200W
Support battery type	Lead-acid batteries, colloidal batteries, open-ended batteries, lithium batteries			
Temperature compensation coefficient	-3mV/°C/2V			
Operating temperature range	-35°C~60°C			
Humidity	95%, no condensation			
Protection grade	Ip32			
Weight	5.7kg			
Communication mode	TTL (3.3V)/RS485/Bluetooth Module			
Product Dimensions	314*227*121 (mm)			
Terminal blocks	35mm <sup>2</sup> /2AWG			

Nota: Tomado del manual de especificaciones técnicas de la página Auto solar

**Cálculo del Sistema de Acumulación:** Para ello, se utilizará el Código Nacional de Electricidad del año 2006

Factores de pérdida:

Voltaje de la batería (Vbat): 24 V

Capacidad útil= 75%= 0.75

LmdAC= 59.91 kWh/día (cálculo Energía Real a Distribuir)

Por cuestiones de economía elegiremos baterías de 24 V, dado que las baterías de 48V, presentan un costo superior en el orden del 300 a 400% de las conocidas en el mercado. Para la central, elegiremos la Bateria de Litio LIFEP04 100Ah 24V.

$$\text{Capacidad} = 100 \text{ AH} \times 24 = 2400 \text{ Wh}$$

$$\text{Capacidad útil} = 2400 \text{ wh} \times 0.75 = 1800 \text{ Wh}$$

$$\text{Número de Baterías} = \frac{\text{LmdAC}}{\text{Capacidad útil}} = \frac{59910 \text{ wh}}{1800 \text{ Wh}} = 33.28 \text{ Baterías}$$

En relación a los cálculos realizados, para nuestro caso de estudio utilizaremos 34 baterías de Litio

### Figura 11

Bateria de Litio LIFEP04 100Ah 24V

Electrical Characteristics	
Nominal Voltage	25.6V
Nominal Capacity@0.2C	100 Ah
Energy	2560 Wh
Internal Resistance	≤45mΩ
Cycle Life	≥4.000 Cycles 80% DOD
Months Self Discharge	≤3.5% per month at 25°C
Mechanical	
Cell & Method	8S1P
Plastic Case	ABS
Dimension(L × W × H × TH)	48× 17 × 24 cm
Weight	Approx. 21.5Kg
Terminal	M8
Standard Charge	
Charge Voltage	29.2 ± 0.2V
Charge Mode(CC/CV)	At 0°C~45°C temperature, charged to 29.2V at a constant current of 0.2C, and then charged continuously with constant voltage of 29.2 V until the current was not more than 0.02C.
Charge Current	19.2A
Max. Charge Current	48A
Standard Discharge	
Discharge Current	50 A
Max. Continuous Current	96A
Max. Pulse Current	120A(<3S)
Discharge Cut-off Voltage	22.4 V
Operating Environment	
Charge Temperature	0°C to 45°C(32°F to 113°F) @60±25% Relative Humidity
Discharge Temperature	-20°C to 60°C(-4°F to 140°F) @60±25% Relative Humidity
Storage Temperature	0°C to 45°C(32°F to 113°F) @60±25% Relative Humidity
Water Dust Resistance	IP55

Nota: Obtenido del sitio web de Indelec, Ficha técnica de Batería

**Selección del inversor:** Para ello, se utilizará el Código Nacional de Electricidad – Utilización 2006

La potencia del inversor debe ser mayor a 1,2 veces de la potencia instalada de los paneles solares que demanda la localidad en el año 20. De acuerdo con la tabla 12, la potencia máxima en nuestro caso será de 8.6 kW. Por cuestiones de economía, elegiremos el inversor Características del Inversor Victron Phoenix 24V 375VA VE., Direct, el cual presenta bajos costos en relación a los presentados en el mercado.

Voltaje de inversor (Vbat): 24 V

Capacidad útil= 80%= 0.80

$$P_{inv} = 1.2 * POT_{max} = 1.2 * 8600 \text{ w} = 10320 \text{ w}$$

$$\text{Capacidad} = 375 \text{ W}$$

$$\text{Capacidad útil} = 375 * 0.80 = 303 \text{ w}$$

$$\text{Número de Inversores} = \frac{P_{inv}}{\text{Capacidad útil}} = \frac{10320}{303 \text{ Wh}} = 34 \text{ Inversores}$$

**Figura 12**

*Características del Inversor Victron Phoenix 24V 375VA VE., Direct*

Inversor Phoenix	12 voltios 24 voltios 48 voltios	12/250 24/250 48/250	12/375 24/375 48/375	12/500 24/500 48/500	12/800 24/800 48/800	12/1200 24/1200 48/1200
Potencia cont. a 25°C (1)		250VA	375VA	500VA	800VA	1200VA
Potencia cont. a 25°C / 40°C		200 / 175W	300 / 260W	400 / 350W	650 / 560W	1000 / 850W
Pico de potencia		400W	700W	900W	1500W	2200W
Tensión / frecuencia CA de salida (ajustable)		230VCA o 120VCA +/- 3% 50Hz o 60Hz +/- 0,1%				
Rango de tensión de entrada		9,2 - 17 / 18,4 - 34,0 / 36,8 - 62,0V				
Desconexión por CC baja (ajustable)		9,3 / 18,6 / 37,2V				
Dinámica (dependiente de la carga)		Desconexión dinámica, ver				
Desconexión por CC baja (totalmente ajustable)		<a href="https://www.victronenergy.com/live/va.direct:phoenix-inverters-dynamic-cutoff">https://www.victronenergy.com/live/va.direct:phoenix-inverters-dynamic-cutoff</a>				
Reinicio y alarma por CC baja (ajustable)		10,9 / 21,8 / 43,6V				
Detector de batería cargada (ajustable)		14,0 / 28,0 / 56,0V				
Eficacia máx.		87 / 88 / 88%	89 / 89 / 90%	90 / 90 / 91%	90 / 90 / 91%	91 / 91 / 92%
Consumo en vacío		4,2 / 5,2 / 7,9W	5,6 / 6,1 / 8,5W	6 / 6,5 / 9W	6,5 / 7 / 9,5W	7 / 8 / 10W
Consumo en vacío predeterminado en modo ECO (Intervalo de reinicio: 2,5 s, ajustable)		0,8 / 1,3 / 2,5W	0,9 / 1,4 / 2,6W	1 / 1,5 / 3,0W	1 / 1,5 / 3,0W	1 / 1,5 / 3,0
Ajuste de potencia de parada y arranque en modo ECO		Ajustable				
Protección (2)		a - f				
Rango de temperatura de trabajo		-40 to +65°C (refrigerado por ventilador) (reducción de potencia del 1,25% por cada °C por encima de 25°C)				
Humedad (sin condensación)		máx. 95%				
CARCASA						
Material y color		Chasis de acero y carcasa de plástico (azul RAL 5012)				
Conexión de la batería		Bornes de tornillo				
Sección de cable máxima:		10mm² / AWG8	10mm² / AWG8	10mm² / AWG8	25/10/10mm² / AWG4/8/8	35/25/25 mm² / AWG 2/4/4
Tomas de corriente CA estándar		230V: Schuko (CEE 7/4), IEC-320 (enchufe macho incluido) UK (BS 1363), AU/NZ (AS/NZS 3112) 120V: Nema 5-15R				
Tipo de protección		IP 21				
Peso		2,4kg / 5,3lbs	3,0kg / 6,6lbs	3,9kg / 8,5lbs	5,5kg / 12lbs	7,4kg / 16,3lbs
Dimensiones (al x an x p en mm.) (al x an x p, pulgadas)		86 x 165 x 260 3.4 x 6.5 x 10.2	86 x 165 x 260 3.4 x 6.5 x 10.2	86 x 172 x 275 3,4 x 6,8 x 10,8	105 x 216 x 305 4.1 x 8.5 x 12.1 (12V modelo: 105 x 230 x 325)	117 x 232 x 327 4.6 x 9.1 x 12.9 (12V modelo: 117 x 232 x 362)



Nota: Obtenido de Auto solar Ficha de Inversor

### **Diseño de red de distribución de baja tensión**

Este esquema de red de baja tensión está destinado a la distribución de energía eléctrica hacia los usuarios residenciales y los sistemas de iluminación pública. Se llevará a cabo el diseño, las especificaciones, los cálculos y la selección de componentes electromecánicos para electrificar la localidad de Rama Serquén, cumpliendo con las directrices del Código Nacional de Electricidad – Suministro 2011, así como con las Normas Técnicas relevantes del Ministerio de Energía y Minas (DGE, DGH y DEP) y otras regulaciones vigentes. Dado que la salida del inversor tiene un voltaje de 230 V, se reconsiderará el esquema de la red de distribución para que se adecúe a una red monofásica de 220 V. Esto garantizará la compatibilidad entre la tensión de salida del inversor y la red de distribución, evitando inconsistencias en el diseño y optimizando la eficiencia del sistema.

### **Normas y códigos considerados**

Los lineamientos principales considerados son los siguientes:

- Código Nacional de Electricidad, Suministros 2011 (RM N° 214-2011-MEM-DM).
- Código Nacional de Electricidad – Utilización (RM N° 037-2006-MEM/DM), incluyendo su modificación (RM N° 175-2008-MEM/DM).
- Ley de Concesiones Eléctricas N° 25844.
- Decreto Supremo N° 009-93 EM, que regula la Ley de Concesiones Eléctricas.
- Normativas vigentes de la DGE/MEM.
- Norma Técnica de Calidad en los Servicios Eléctricos.

### **Tabla 14**

*Parámetros estimados de la red de distribución*

Parámetros Estimados	Valores
Red de distribución secundaria	0,9
Alumbrado Público	0,9
Viviendas	0,5
Cargas especiales	1
Alumbrado Público	1

Máxima caída de tensión	7% (15,4 V)
Distancia de una línea BT a la proyección de la fachada	1 m
Distancia de una línea a la superficie	6,5 m

Nota: Elaboración propia

En referencia a los postes, estos serán de Concreto Armado para Redes de Distribución. La superficie sobre la que estos se coloque deberá ser completamente plana y uniforme, sin irregularidades, marcas ni fisuras que puedan permitir la entrada de humedad.

**Tabla 15**

*Parámetros de los postes de concreto*

Elemento	Especificaciones
Características	Cumplir normas DGE 015-PD. Área uniforme y sin grietas.  Longitud: 8 m  Carga de trabajo: 200 Diámetro Base: 270 mm Coeficiente de seguridad: 2 Peso: 410 Kg

Nota: Elaboración propia

Se definen las especificaciones técnicas esenciales que deben cumplir las luminarias para alumbrado público, incluyendo las lámparas de V.S.A.P. y los accesorios necesarios para su funcionamiento adecuado.

**Tabla 16**

*Parámetros estimados para las luminarias*

Elemento	Especificaciones
Características	Tipo: Sodio  Potencia: 50 W  Tensión: 90 V  Intensidad: 1 A  Mínima tensión: 220 V  Flujo luminoso: 3,400 lm  Horario: 12 h (18:30 a 06:30)

Nota: Elaboración propia

La reactancia es un componente esencial para el funcionamiento de las lámparas de descarga, dado que estas no se conectan directamente a la red eléctrica. Este dispositivo proporciona la corriente necesaria para el arranque de las lámparas.

Por otro lado, los ignitores generarán el impulso requerido para encender las lámparas.

Los pasturales son elementos curvados que establecen el ángulo de instalación de la luminaria, permitiendo una adecuada distribución de la luz. Estos serán fabricados en Acero SAE 1020

**Tabla 17**

*Parámetros estimados para los pasturales*

Elemento	Especificaciones
Características	Dimensiones: Horizontal: 1,900 mm Vertical: 1,500 mm Radio: 1,100 mm Ángulo: 15° Diámetro del tubo: 38 mm Peso: 12 Kg

Nota: Elaboración propia

**Dimensionamiento y Selección de Conductores Eléctricos:** Para ello, se utilizará el Código Nacional de Electricidad – Utilización 2006

#### **Tramo: Panel Solar – Regulador**

Para los cálculos se han resuelto para una distancia no mayor a 15 metros. Así mismo, recordamos que se conectarán 6 paneles por regulador:

- Corriente por panel:  $I_{\text{panel}} = 500 \text{ W} / 24 \text{ V} = 20.83$
- Corriente total con 6 paneles:  $I_{\text{total}} = 6 * 20.83 = 124.98 \text{ A}$
- Longitud del tramo:  $L = 15$  metros
- $\rho = 1.68 \times 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}$  (resistividad del cobre).
- A es el área del cable en  $\text{mm}^2 = x$
- Caída de tensión máxima permitida del 1%:

$$V_{\text{max}} = 0.01 \times V = 0.01 \times 24 \text{ V} = 0.24 \text{ V}$$

$$A = \frac{2 * \rho * I * L}{V} = \frac{2 * 1.68 * 0.00000001 * 124.98 \text{ A} * 15}{0.24 \text{ V}} = 15.53 \text{ mm}^2$$

Dado que el área mínima calculada es de aproximadamente 15.53 mm<sup>2</sup>, se adoptará un cable de 16 mm<sup>2</sup>, que es un tamaño estándar.

#### **Tramo: Regulador - Batería**

Los cálculos se han realizado considerando una distancia máxima de 15 metros, que es la distancia límite entre los reguladores y la serie de baterías.

- Corriente total  $I_{\text{total}} = 124.98 \text{ A}$
- Longitud del tramo:  $L = 15 \text{ metros}$
- $\rho = 1.68 \times 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}$  (resistividad del cobre).
- $A$  es el área del cable en  $\text{mm}^2 = x$
- $V_{\text{drop}}$  es la caída de tensión en voltios (V).

$$V_{\text{max}} = 0.01 \times V = 0.01 \times 24 \text{ V} = 0.24 \text{ V}$$

$$A = \frac{2 * \rho * I * L}{V} = \frac{2 * 1.68 * 0.00000001 * 124.98 \text{ A} * 15}{0.24 \text{ V}} = 15.53 \text{ mm}^2$$

Dado que el área mínima calculada es de aproximadamente 15.53 mm<sup>2</sup>, se optará por un cable de 16 mm<sup>2</sup>, un tamaño estándar que ofrece un margen de seguridad adicional.

#### **Tramo: Batería- Inversor**

Los cálculos se han realizado para una distancia no mayor a 15 metros, anticipando que el recorrido no excederá esta distancia máxima.

- Voltaje del sistema:  $V = 24 \text{ V}$
- Longitud del tramo:  $L = 15 \text{ metros}$
- Corriente  $I_{\text{inversor}} = 500 \text{ WP} / 24 \text{ V} = 20.83 \text{ A}$
- $A$  es el área del cable en  $\text{mm}^2$
- $\rho = 1.68 \times 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}$  (resistividad del cobre).
- Caída de tensión máxima permitida del 1%:

$$V_{\text{max}} = 0.01 \times V = 0.01 \times 24 \text{ V} = 0.24 \text{ V}$$

$$A = \frac{2 * \rho * I * L}{V} = \frac{2 * 1.68 * 0.00000001 * 20.83 \text{ A} * 15}{0.24 \text{ V}} = 6.65 \text{ mm}^2$$

Dado que el área mínima calculada es de aproximadamente 6.65 mm<sup>2</sup>, se adoptará un cable de 16 mm<sup>2</sup>, que es un tamaño estándar y proporcionará un margen de seguridad adicional.

#### **Tramo: Inversor- Tablero general de vivienda,**

Para los cálculos, se ha decidido analizar la vivienda más lejana, ubicada a una distancia inferior a 250 metros. Cabe recordar que se está utilizando un inversor por cada unidad de vivienda, es decir, un total de 34 inversores.

- Potencia por poste: P=100 WP
- Voltaje del sistema: V= 220V
- Longitud del tramo: L=250 metros
- Corriente por vivienda

$$I_{\text{vivienda}} = \frac{500}{220V} = 2.27 A$$

- Corriente total por 34 viviendas de luz

$$I_{\text{vivienda}} = 2.27 A * 34 = 77.18 A$$

- Cálculo de la Caída de Tensión Permitida

Se adoptó una caída de tensión del 3%, donde:

$$V_{\text{drop max}} = 0.03 * 220 = 6.6 V$$

$$A = \frac{2 * p * I * L}{V} = \frac{2 * 1.68 * 0.00000001 * 77.18A * 250}{6.6V} = 9.8\text{mm}^2$$

El área calculada de 9.8 mm<sup>2</sup> es adecuada, pero se debe verificar con las tablas de capacidad de corriente. Dado ello, se adoptará un cable de 35 mm<sup>2</sup> con aislamiento THHN o XHHW es adecuado para manejar 77.18 A, cumpliendo con la caída de tensión permitida y garantizando la seguridad del sistema.

#### **Tramo: Inversor- Postes de luz**

Para los cálculos, se ha decidido analizar el poste de luz más distante, con una separación inferior a 150 metros. Con base en este análisis, se espera que la situación permita resolver el cableado para los 10 postes de luz del caserío.

- Potencia por poste: P=100 WP
- Voltaje del sistema: V=220

- Longitud del tramo: L=150 metros
- Número de postes: N= 17
- Corriente por poste

$$I_{\text{poste}} = \frac{100}{220V} = 0.445 A$$

- Corriente total por 17 postes de luz

$$I_{\text{vivienda}} = 0.445 A * 17 = 7.735 A$$

- A es el área del cable en mm<sup>2</sup>=35 mm<sup>2</sup>
- V<sub>drop</sub> es la caída de tensión en voltios (V).

$$V_{\text{drop}} = \frac{2 * L * I * \rho}{A} = \frac{2 * 1.68 * 0.00000001 * 7.735A * 150}{35 \text{ mm}^2} = 5.57V$$

Porcentaje de caída de tensión

$$\text{Caída de tensión \%} = \frac{5.57V}{220V} * 100 = 2.53\%$$

Según el análisis realizado, la caída de tensión es del 2.53%, significativamente inferior al rango permitido de 1% a 3%. Por esta razón, se ha optado por utilizar un cable XHHW de 35 mm<sup>2</sup> debido a su resistencia a la humedad y al calor, lo cual es ideal para instalaciones de larga distancia y entornos exteriores.

### Tabla 18

#### *Conductores requeridos*

Cable	Tamaño	Diámetro Aprox.
Cable unifilar THHN/THWN-2 1kV Rojo	35 mm <sup>2</sup> (~1750 kcmil)	35 mm
Cable unifilar POWEFLEX -2 1kV Negro	35 mm <sup>2</sup> (~1750 kcmil)	35 mm
Cable unifilar THHN/THWN-2 1kV Rojo	16 mm <sup>2</sup> (~1000 kcmil)	16 mm
Cable unifilar POWEFLEX -2 1kV Negro	16 mm <sup>2</sup> (~1000 kcmil)	16 mm
Cable unifilar POWEFLEX -2 1kV Verde	16 mm <sup>2</sup> (~1000 kcmil)	16 mm

Nota: Elaboración propia

- THHN/THWN-2 1kV Rojo: Conexiones principales de alta tensión
- POWEFLEX -2 1kV Negro: Conexiones de menor tensión
- POWEFLEX -2 1kV Verde: Conexión a tierra.
- Especificaciones técnicas de los conductores en Anexo 5

**Dimensionamiento de la Protección del Sistema Fotovoltaico:** Para ello, se utilizará el Código Nacional de Electricidad – Utilización 2006. Para el diseño se ha considera 1 fusible por panel, el mismo deberá resistir la intensidad de corriente que pasará por el circuito.

Voltaje del sistema: 24 V

Lmd<sub>AC</sub>= 59.91 kWh/día (cálculo Energía Real a Distribuir)

Q ah= energía diaria que necesita ser almacenada en Amperios

Corriente de Cortocircuito de Cada Panel

$$ISC = \frac{P_{MOD}}{V_{PANEL}} = \frac{500 \text{ Wp}}{37.9 \text{ V}} = 13.9 \text{ A}$$

Corriente Nominal por Conductor

$$Lmd_{AC} = \frac{59910 \text{ wh/ día}}{24 \text{ V}} = 2946 \text{ A}$$

$$ISC = \frac{Lmd_{AC}}{\text{Número de paneles}} = \frac{2946 \text{ A}}{34} = 73.4 \text{ Ah/día}$$

Donde:

ISC = Corriente del modulo

N<sub>p</sub> = Número de Paneles = 34

Intensidad de Diseño del Circuito (I<sub>b</sub>)

I<sub>n</sub>: Intensidad nominal del fusible en A

I<sub>adm</sub>: Intensidad admisible del cable

I<sub>2</sub>: Intensidad de fusión I<sub>2</sub> = x I<sub>n</sub>

k= Factor de seguridad= 1.25

Aplicar el Factor de Seguridad

$$I_{sc \text{ fusible Panel}} = ISC * k = 13.9 \text{ A} * 1.25 = 17.375 \text{ A}$$

$$I_{sc \text{ fusible conductor}} = ISC * k = 73.41 \text{ A} * 1.25 = 91.76 \text{ A}$$

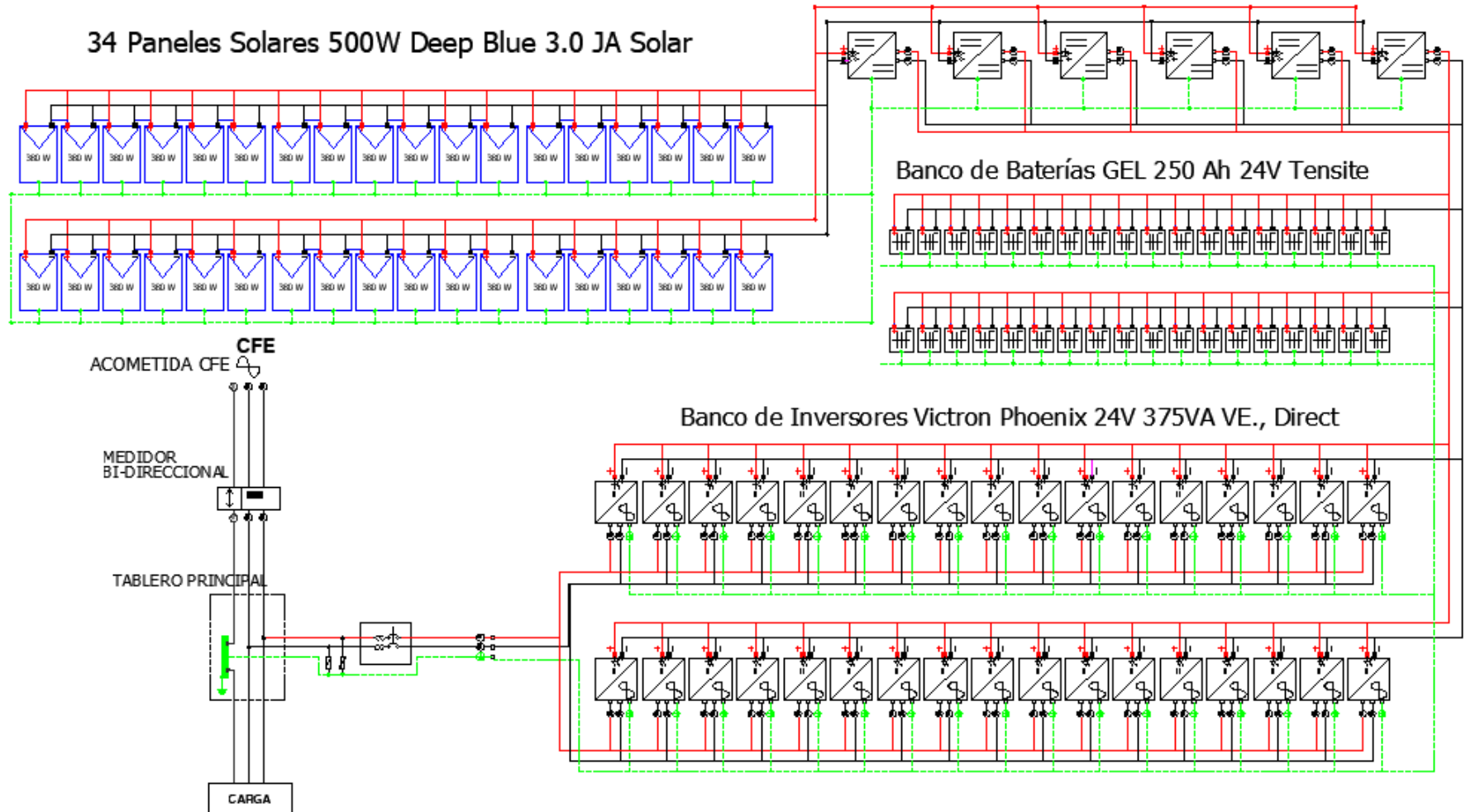
Como se puede observar, en el primer caso se consideraron fusibles de 20 amperios. Sin embargo, estos no soportarían la intensidad de corriente que atraviesa el conductor, la cual, al contar con el coeficiente de seguridad K= 1.25, es de 91.76 amperios. Por lo tanto, se optará por usar fusibles de 100 amperios por cada unidad de vivienda, sumando un total de 34 fusibles para el desarrollo de la propuesta.

### Figura 13

*Diseño de la central solar fotovoltaica en el caserío Rama Serquén*

6 REGULADORES DE CARGA MPPT 250V 100A LCD 12/24/48V

34 Paneles Solares 500W Deep Blue 3.0 JA Solar





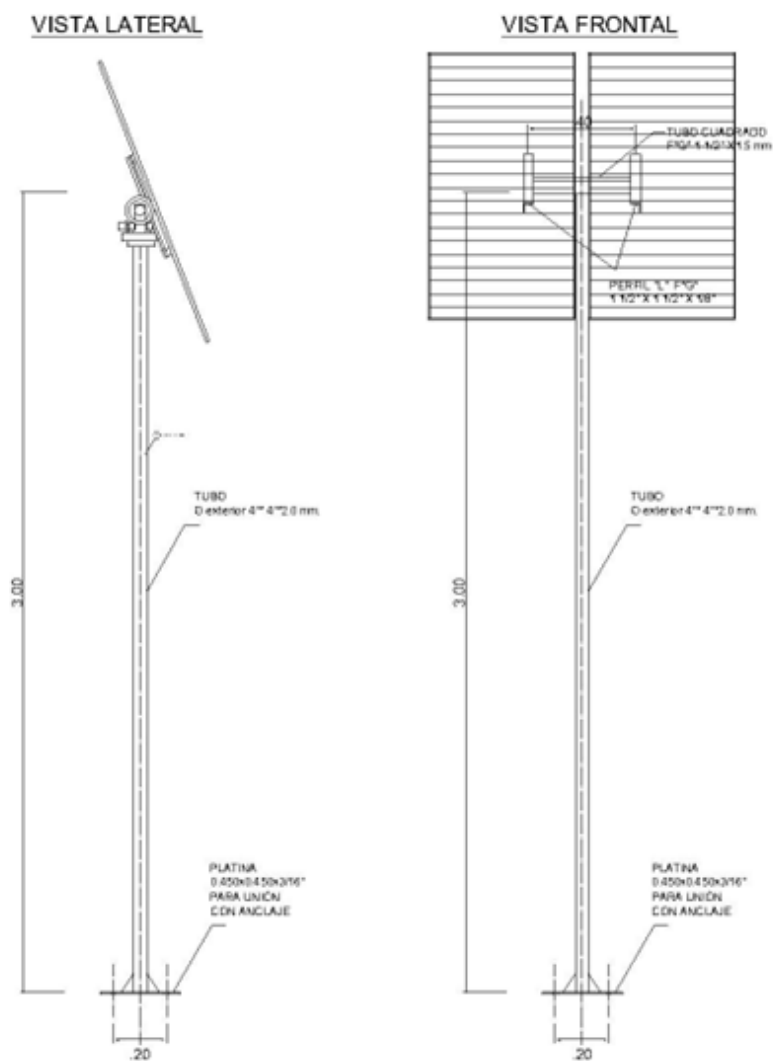
*Plano de distribución de la red de baja tensión en el caserío Rama Serquén*



**Cálculos para el Diseño de un Seguidor Solar de Dos Ejes:** Para ello, se emplearán los principios del Código Nacional de Electricidad – Utilización 2006. El seguidor estará montado sobre una estructura principal que facilitará el seguimiento óptimo del sol, permitiendo el uso de dos módulos de panel para maximizar la captación de energía solar.

**Figura 15**

*Seguidor solar de 2 ejes*



Nota: Elaboración propia

### **Cálculo de la Carga de Viento**

Presión del Viento ( $P_w$ ):

$$P_w = 0.5 * C_d * \rho * V^2 = 0.5 * 1.2 * 1.2 * 1.2 \text{ kg/m}^3 * (30 \text{ m/s})^2 = 648 \text{ N/m}^2$$

$\rho = 1.2 \text{ kg/m}^3$  (densidad del aire)

$C_d = 1.2$  (coeficiente de arrastre)

$V = 30 \text{ m/s}$  (velocidad del viento)

Fuerza del Viento ( $F_w$ ):

Área de un panel =  $2 \text{ m}^2$  \*

Número de paneles = 2 Área total de los paneles

$$A = 2 \text{ m}^2 * 2 = 4 \text{ m}^2$$

$$F_w = P_w * A = 648 \text{ N/m}^2 * 4 \text{ m}^2 = 2592 \text{ N}$$

### **Cálculo del Momento debido al Viento**

Para nuestro caso la altura desde el punto de aplicación de la fuerza del viento hasta el punto de rotación  $h = 2$  metros.

Presión del Viento ( $P_w$ ):

$$M_w = F_w * h = 2592 \text{ N} * 2 = 5184 \text{ Nm}$$

### **Cálculo del Peso Total de los Paneles**

Peso de un panel solar: 22 kg

Peso de 2 paneles:  $22 \text{ kg} * 2 = 44 \text{ kg}$

Convertimos a Newtons (N) considerando que  $1 \text{ kg} \approx 9.81 \text{ N}$ :

$$P_e = 44 \text{ kg} * 9.81 \text{ N/kg} = 431.64 \text{ N}$$

De acuerdo con la tabla 13, el ángulo de acimut óptimo para maximizar la eficiencia de la central solar, que es de  $177,63^\circ$  respecto al norte. Estos datos se obtuvieron utilizando el programa Sun Earth Tools, que proporciona la posición del sol durante todo el año. La

inclinación  $\beta$ . Dado que la central suministra energía a viviendas durante todo el año se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$\beta = \phi + 10^\circ$$

$$\beta = 6^\circ, 21' + 10^\circ$$

$$\beta = 16^\circ, 21'$$

Donde:

$\phi$ : latitud del lugar de la central.

### **Cálculo de la Estructura**

Selección del Pilar Principal: se utilizará. acero estructural ASTM A36

Esfuerzo de Flexión ( $\sigma_f$ ):

Asumimos una sección transversal rectangular con base  $b= 0.1\text{m}$  y altura  $h=2\text{ m}$

$$S = \frac{b * h^2}{6} = \frac{0.1 * (0.2)(0.2)}{6} = 0.0006667\text{m}^3$$

Convirtiendo a  $\text{cm}^3$  ( $1\text{ m}^3 = 1,000,000\text{ cm}^3$ ):

$$S=0.0006667*1,000,000= 666.7\text{cm}^3$$

Calculamos del esfuerzo de flexión:

$$S = \frac{M_w}{S} = \frac{5184\text{Nm}}{0.0006667\text{m}^3} = 7.77\text{ kg/cm}^2$$

Este valor está muy por debajo del límite de fluencia del acero ASTM A36 ( $2500\text{ Kg/cm}^2$ ), esto nos demuestra que la sección es adecuada.

### **Verificación de la Estabilidad**

**Esfuerzo Cortante ( $\tau$ ):**

Área de la sección transversal del pilar  $A_s$ :

$$A_s = b * h = 0.1\text{ m} * 0.2\text{ m} = 0.02\text{m}^2 = 200\text{cm}^2$$

$$\tau = \frac{F_w}{A_s} = \frac{2592\text{N}}{200\text{cm}^2} = 12.96\text{N/cm}^2$$

$$12.96\text{N/cm}^2=1.32\text{Kg/cm}^2$$

Este esfuerzo también está muy por debajo del límite de fluencia del material. Así mismo, se utilizarán otros materiales como los indicados a continuación:

**Tabla 19**

*Materiales y componentes estructurales del seguidor solar*

Descripción	Caso de Uso	Cálculo del Esfuerzo Máximo	Conclusión
Acero Estructural ASTM A36	Estructura principal del seguidor solar.	Esfuerzo de flexión calculado previamente ( $\sigma_f$ ): $\sigma_f=7.77 \text{ Kg/cm}^2$ .	El acero estructural ASTM A36 es adecuado para la estructura del seguidor solar.
Acero Galvanizado	Componentes exteriores que requieren resistencia a la corrosión.	Utilizando los mismos cálculos de esfuerzo: $\sigma_f=7.77 \text{ Kg/cm}^2$ .	El acero galvanizado es adecuado para componentes exteriores que requieren resistencia a la corrosión.
Acero Inoxidable 304	Componentes en ambientes altamente corrosivos.	$\sigma_f=7.77 \text{ Kg/cm}^2$ .	El acero inoxidable 304 es adecuado para componentes en ambientes corrosivos.
Aluminio 6061-T6	Componentes móviles que requieren ligereza.	$\sigma_f=7.77 \text{ Kg/cm}^2$ .	El aluminio 6061-T6 es adecuado para componentes móviles debido a su ligereza.
Aluminio 6063-T5	Componentes que requieren buena resistencia a la corrosión y extrusión.	$\sigma_f=7.77 \text{ Kg/cm}^2$ .	El aluminio 6063-T5 es adecuado para componentes que requieren buena resistencia a la corrosión y extrusión.
Fundición de Hierro Dúctil ASTM A536	Componentes que requieren alta resistencia y ductilidad.	$\sigma_f=7.77 \text{ Kg/cm}^2$ .	La fundición de hierro dúctil ASTM A536 es adecuada para componentes que requieren alta resistencia y ductilidad.
Tornillería de Alta Resistencia	Asegurar la estructura del seguidor solar.	Esfuerzo cortante calculado: $\tau=84.23 \text{ Kg/cm}^2$ .	La tornillería de alta resistencia es adecuada para asegurar la estructura del seguidor solar.

Nota: Elaboración propia

## Motores y Actuadores

Torque Requerido ( $\tau$ ):

Torque debido a la fuerza del viento:

Fuerza del Viento ( $F_w$ ):

$$T_w = F_w * h = 2592\text{N} * 2 = 5184\text{Nm}$$

Torque debido al peso de los paneles:

Peso total de los paneles ( $P_e$ ) = 431.64 N (calculado previamente)

brazo de palanca ( $h_p$ ) de 1 m

$$T_p = P_e * h_p = 431.64\text{N} * 1\text{m} = 431.64\text{Nm}$$

Torque total ( $T$ ):

$$T = T_w + T_p = 5184\text{Nm} + 431.64\text{Nm} = 5615.64\text{Nm}$$

Potencia requerida ( $P$ ): la velocidad angular es de 0.1 rad/s, dado que se considerará un movimiento lento y controlado:

$$P = T * \omega = 5615.64\text{Nm} * 0.1\text{rad/s} = 561.564\text{W}$$

Convertimos a kW:

$$P = \frac{561.564\text{W}}{1000\text{W}} = 0.562\text{kW}$$

Se seleccionó un Motor con una potencia de 0.75 kW (considerando un margen de seguridad). Siendo este motor DC con Caja Reductora Voltaje: 24V

Engranajes y Rodamientos

Engranajes:

Material: Acero endurecido

Relación de Transmisión: 1:10 (para aumentar el torque)

El torque en el engranaje de salida ( $T_{salida}$ ) será 10 veces el torque del motor:

$$T_{salida} = T * \text{Relación de Transmisión} = 5615.64 \text{ Nm} * 10 = 56156.4 \text{ Nm}$$

Rodamientos: Para los rodamientos, debemos asegurar que puedan soportar tanto las cargas radiales como axiales.

- Carga Radial ( $F_r$ ):

$$F_r = \text{Peso de los paneles y estructura} + \text{Fuerza del viento}$$

$$F_r = 431.64 \text{ N} + 2592 \text{ N} = 3023.64 \text{ N}$$

- Carga Axial ( $F_a$ ): Asumimos una fracción de la carga radial, digamos el 10% = 302.36 N

Selección de rodamientos de bolas o rodillos con una capacidad de carga adecuada:

- Capacidad de carga radial dinámica: 4000 N
- Capacidad de carga axial: 500 N

Sistemas de Control (PLC, Microcontroladores)

Para controlar el movimiento del seguidor solar, se puede utilizar un PLC o un microcontrolador.

PLC:

- Modelo: Controlador MPPT 250V 100A LCD 12/24/48V
- Entradas/Salidas: 8 entradas digitales y 8 salidas digitales para sensores y actuadores
- Comunicación: Ethernet o RS485 para comunicación con sensores y actuadores

Microcontroladores:

- Modelo: Arduino Mega 2560 o similar
- Entradas/Salidas: 54 pines digitales, 16 entradas analógicas
- Comunicación: UART, I2C, SPI

## Sensores (Luz, Posición, Clima)

### Sensores de Luz:

- Modelo: Fotodiodos o LDR (Light Dependent Resistors)
- Rango de Medición: 0-100,000 lux

### Sensores de Posición:

- Modelo: Encoder rotativo
- Resolución: Al menos 1024 pulsos por revolución

### Sensores de Clima:

- Modelo: Estación meteorológica
- Parámetros: Velocidad del viento, dirección del viento, temperatura, humedad

## Anclajes de Acero

### Esfuerzo Cortante ( $\tau$ ):

Esfuerzo Cortante ( $\tau$ ):

Fuerza del Viento ( $F_w$ ): 2592 N

As: Área de la sección transversal del anclaje (diámetro de 1 cm, área = 0.785 cm<sup>2</sup>)

Área de la sección transversal del pilar As:

$$A_s = b \cdot h = 0.1 \text{ m} \cdot 0.2 \text{ m} = 0.02 \text{ m}^2 = 200 \text{ cm}^2$$

$$\tau = \frac{F_w}{A_s} = \frac{22592 \text{ N}}{0.785 \text{ cm}^2} = 3302.55 \text{ N/cm}^2$$
$$3302.55 \text{ N/cm}^2 = 336.77 \text{ Kg/cm}^2$$

Esto está por debajo del límite de fluencia (2500 Kg/cm<sup>2</sup>) y de la resistencia a la tracción (4000 Kg/cm<sup>2</sup>) de los anclajes de acero.



**Tabla 20***Componentes del seguidor solar*

Descripción	Unidad de Medida	Norma Técnica	Límite de fluencia mínimo (Kg/cm <sup>2</sup> )	Resistencia a la tracción (Kg/cm <sup>2</sup> )
Motores y actuadores	kW	-	-	0.75 kW
Engranajes	U	-	-	Relación 1:10, Acero endurecido
Rodamientos	U	-	4000 N	500 N
PLC	U	-	-	Siemens S7-1200
Microcontrolador	U	-	-	Arduino Mega 2560
Sensores de luz	U	-	-	0-100,000 lux
Sensores de posición	U	-	-	Encoder, 1024 ppr
Sensores de clima	U	-	-	Estación meteorológica
Anclajes de acero	Toneladas	ASTM A307	2,500	4,000

Nota: Elaboración propia

En relación al objetivo específico 2, se estimaron los costos totales asociados con la adquisición, instalación y mantenimiento a lo largo del tiempo del sistema propuesto y costo del kWh generado.

**Tabla 21***Costos de adquisición de materiales para un sistema fotovoltaico con seguidores solares*

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	PRECIO UNID.	COSTO
<b>Equipos</b>			
Panel solar 500W DEEP BLUE 3.0 mono JA Solar	34	S/ 450.00	S/ 15,300
Inversor Victron Phoenix 12V 375VA VE., Direct	34	S/ 320.00	S/ 10,880
Batería GEL 250Ah 24V Tensite	34	S/ 1,250.00	S/ 37,400
<b>Cableado</b>			
Juegos conectores MC4 Paneles solares	34	S/ 16.93	S/ 576
Cable unifilar solar PV 16mm <sup>2</sup> H1Z222-K 1,5kV Rojo	300	S/ 3.50	S/ 1,050
Cable unifilar solar PV 16mm <sup>2</sup> H1Z222-K 1,5kV Negro	300	S/ 3.50	S/ 1,050
Cable unifilar solar PV 35mm <sup>2</sup> RZ1-K 1kV Verde	68	S/ 15.00	S/ 1,020
Cable unifilar solar PV 35mm <sup>2</sup> RV-K 1kV Negro	68	S/ 15.00	S/ 1,020
Terminal de comprensión cable 35mm - Perno 8mm	34	S/ 4.33	S/ 147
Terminal de comprensión cable 50mm - Perno 12mm	34	S/ 6.48	S/ 220
Terminal punta Cable 35mm - Borne 35mm	34	S/ 3.58	S/ 122
Cable de interconexión baterías serie 50mm	34	S/ 20.10	S/ 683
<b>Accesorios de protección</b>			
Desconector de baterías DC 600A 48Vdc	34	S/ 120.00	S/ 4,080
Fusible DC 50A 500V 14x51	34	S/ 14.03	S/ 477
Porta fusible DC 14x51 63A 690V	34	S/ 45.50	S/ 1,547
Termomagnético 2P 16A 6KA Monofásico CHINT	34	S/ 25.50	S/ 867
Caja de protección IP65 M (60 x 40 x 20)	34	S/ 180.00	S/ 6,120
Servicio de montaje de Caja protección IP65	34	S/ 52.00	S/ 1,768
Rejilla Plástica con filtro 148x148mm DC Energy	130	S/ 20.52	S/ 2,668
<b>Estructuras</b>			
Riel de 2,50m	18	S/ 28.00	S/ 504
Abrazadera intermedia	18	S/ 7.40	S/ 133
Abrazadera final	18	S/ 9.58	S/ 172
Soporte frontal	18	S/ 12.42	S/ 224
Soporte posterior ajustable 15°-30°	18	S/ 21.50	S/ 387
Lengüeta de tierra	18	S/ 9.35	S/ 168

Clip de tierra	18	S/ 2.76	S/ 50
Canal U	18	S/ 280.00	S/ 5,040
Angulo estructural	18	S/ 60.00	S/ 1,080
Costos red de distribución secundaria			
Conductores (incluyendo instalación)	2550	S/ 3.50	S/ 8,925
Postes de luz	17	S/ 300.00	S/ 5,100
Accesorios	N/A	N/A	S/ 1,500
Instalación	N/A	N/A	S/ 2,329
Costos del sistema de alumbrado público			
Lámparas LED	17	S/ 250.00	S/ 4,250
Controladores de iluminación	N/A	N/A	S/ 1,000
Cableado adicional	N/A	N/A	S/ 1,000
Total			S/ 166,050.77

Nota: Elaboración propia

De la tabla se puede apreciar que el costo total de adquisición de materiales para la mini central solar usando sistemas fotovoltaicos con seguidores solares para las 34 viviendas del caserío Rama Serquén es S/ 166,050.77 soles.

## Tabla 22

*Costo de instalación de un sistema fotovoltaico con seguidores solares*

Descripción	Costo (S/)
Transporte de material a lugar de instalación	S/ 14,194.60
Mano de obra para instalación (30% del costo del material)	S/ 42,583.80
Costo de equipos adicionales	S/ 5,000.00
Pruebas y puesta en marcha	S/ 2,000.00
Permisos y licencias	S/ 1,000.00
Otros gastos imprevistos	S/ 2,000.00
Total	S/ 66,778.40

Nota: Elaboración propia

El proyecto contempla diversos costos para la instalación del sistema, entre los cuales se encuentra. El transporte del material al lugar de instalación tiene un costo de S/ 14,194.60.

La mano de obra necesaria para la instalación, que se estima en el 30% del costo del material, asciende a S/ 42,583.80. Además, se consideran S/ 5,000.00 para la adquisición de equipos adicionales necesarios para el proyecto. Las pruebas y la puesta en marcha del sistema requieren una inversión de S/ 2,000.00, mientras que los permisos y licencias necesarios suman S/ 1,000.00. También se han presupuestado S/ 2,000.00 para cubrir otros gastos imprevistos que puedan surgir durante la ejecución del proyecto. En total, el costo del proyecto asciende a S/ 66,778.40.

**Tabla 23**

*Costo de mantenimiento anual de un sistema fotovoltaico con seguidores solares*

Descripción	Frecuencia	Costo Unitario (S/)	Costo Unitario (S/)	Costo Anual por Vivienda (S/)	Costo Total Anual (S/)
Limpieza de paneles solares	4 veces/año	4	15	60	2,040
Revisión de inversores	1 vez/año	1	40	40	1,360
Revisión de baterías	2 veces/año	2	30	60	2,040
Inspección de cableado y conectores	2 veces/año	2	20	40	1,360
Mantenimiento de estructuras y seguidores solares	1 vez/año	1	40	40	1,360
Reemplazo de pequeños componentes	Anual	1	40	40	1,360
Total	-	-	-	280	9,520

Nota: Elaboración propia

- Costo Total Anual de Mantenimiento: S/ 9520
- Costo Mensual de Mantenimiento: S/ 793

Para el caso de análisis se ha identificado un costo anual de mantenimiento se ha dividido entre las 34 unidades de vivienda, siendo este de S/. 280 soles.

$$\text{Mantenimiento por unidad de vivienda} = \frac{\text{S/9,520}}{34} = \text{S/280 soles}$$

**Tabla 24**

*Costo de inversión del proyecto*

Descripción	TOTAL SOLES (S /.)
Adquisición de Materiales	S/ 166,050.77
Costo de instalación	S/ 42,583.80
Costo de transporte	S/ 14,195
Costo de mantenimiento	S/ 9,520
Sut total	S/ 233,069
Otros gastos (5%)	S/ 11,653
Total	S/ 244,722

Nota: Elaboración propia

El costo de inversión del proyecto se desglosa en varios rubros. La adquisición de materiales tiene un costo total de S/ 166,050.77. El costo de instalación asciende a S/ 42,583.80, mientras que el costo de transporte se estima en S/ 14,195. Además, se ha contemplado un costo de mantenimiento de S/ 9,520. El subtotal de estos gastos es de S/ 233,069. A esto se suman otros gastos, calculados en un 5% del subtotal, lo que equivale a S/ 11,653. De esta forma, el costo total del proyecto asciende a S/ 244,722.

Para el cálculo del costo del kW generado se tomarán los valores máximos presentados en la Tabla 12. Así mismo, se considerará el de Consumo de energía del caserío proyectado a 20 años. Cabe destacar que los paneles cuentan con un horizonte de vida de 25 años.

Sumamos estos valores:

Energía total generada en 20 años= 10033.5+ 10323.5+ 10606.5+ 10882.5+....+ 14412.5

Energía total generada en 20 años=527285 kW/h

Calcular el costo del kW/h generado

El costo total del proyecto es S/. 244,722. Dividimos este costo entre la energía total generada durante 20 años:

$$\text{Costo por kwh} = \frac{\text{Costo total del proyecto}}{\text{Energía generada en 20 años}}$$

$$\text{Costo por kwh} = \frac{244,722}{527285 \text{ kwh}} = S/0.46$$

Se estima que el costo de kWh generado será de S/. 046 soles, siendo inferior al costo presentado por el mercado.

En relación al objetivo específico 3, se exploraron otras opciones de suministro de energía disponibles en la zona, y compararon con la propuesta. Para nuestro caso de estudio se compararon 4 metodologías

- Evaluación de la red eléctrica
- Potencial de energía solar
- Evaluación del recurso eólico
- Disponibilidad de biomasa
- Recurso hídrico para micro hidroeléctrica

Dado esto, se formularon los siguientes sistemas alternativos:

- Red eléctrica convencional
- Generadores Diésel
- Micro hidroeléctrica
- Sistema de Biomasa

## A) Sistema de Red Eléctrica Convencional

**Tabla 25**

*Costo de inversión del Sistema de Red Eléctrica Convencional*

Concepto	Detalle	Costo (S/.)
Distancia a la red eléctrica	5 km	
Costo de extensión de la red	S/ 50,000 por km	
Costo de conexión por vivienda	S/ 1,500	
Tarifa de energía	S/ 0.50 por kWh	
Consumo promedio anual por vivienda	2,580 kWh	
Costos Iniciales		
Extensión de la red eléctrica	5 km * S/ 50,000/km	S/ 250,000
Conexión por vivienda	34 viviendas * S/ 1,500/vivienda	S/ 51,000
Costos iniciales totales		S/ 301,000
Costos Anuales de energía		
Costo anual de energía por vivienda	2,580 kWh * S/ 0.50/kWh	S/ 1,290
Costo anual de energía total	34 viviendas * S/ 1,290/vivienda	S/ 17,000
Costo Total para 20 Años		
Costos anuales de energía en 20 años	S/ 17,000/año * 20 años	S/ 340,000
Costos Totales en 20 Años		S/ 641,000

Nota: Elaboración propia

De acuerdo con el análisis los costos para llevar energía al caserío Rama Serquén se encuentran en un promedio de soles S/641.000. Dado esto, se considera que la propuesta excede los costos formulados por el sistema de energía solar fotovoltaico.

## B) Sistema con Generadores Diésel

Para ello se tendrá presente que un generador tiene una vida útil de 10 años

**Tabla 26**

*Costo de inversión del Sistema de Generadores Diésel*

Concepto	Cálculo	Monto (S/)
Costo total de combustible anual para las 34 viviendas		
Costo de combustible mensual por vivienda	S/ 60	
Costo total de combustible mensual	34 viviendas * S/ 60/vivienda = S/ 2,040	
Costo total de combustible anual	S/ 2,040 * 12 = S/ 24,480	S/ 24,480
Costo de mantenimiento anual por generador		
Costo de mantenimiento anual por generador	S/ 500	
Costo total de mantenimiento anual para 34 generadores	S/ 500 * 34 = S/ 17,000	S/ 17,000
Costo del generador diésel en cada vivienda		
Costo por generador diésel por vivienda	S/ 5,000	
Costo total de generadores para las 34 viviendas	S/ 5,000 * 34 = S/ 170,000	S/ 170,000
Costos finales		
Costo total del generador diésel para 34 viviendas		S/ 170,000
Costo total de combustible anual		S/ 24,480
Costo total de mantenimiento anual		S/ 17,000
Costo final		S/ 211,480

Nota: Elaboración propia



Por lo tanto, el costo final del sistema con Generadores Diésel, supera al de la propuesta, por lo cual no es económicamente viable. Cabe destacar, que el sistema de generadores Diesel tiene un horizonte de 10 años, siendo inferior al propuesto.

### **C) Micro hidroeléctrica**

Costo de instalación de la planta micro hidroeléctrica= S/ 500.000. Este costo incluye la adquisición de los equipos necesarios para la generación de energía hidroeléctrica, como turbinas, generadores, sistemas de control, así como la infraestructura asociada, como tuberías, canales de agua, estructuras de soporte, entre otros. También cubre los gastos de instalación, que implican la colocación y conexión de los componentes de la planta en el sitio de la micro hidroeléctrica.

Costo de mantenimiento anual (S/ 25.000): Este costo está destinado a cubrir el mantenimiento regular de la planta micro hidroeléctrica. Esto implica actividades como inspecciones periódicas para detectar y prevenir posibles problemas, limpieza de los componentes para garantizar su eficiencia operativa, lubricación de partes móviles para reducir el desgaste y realizar reparaciones o sustituciones de piezas según sea necesario para mantener el funcionamiento óptimo de la planta. Dado esto, se reconoce que este sistema es inviable para el desarrollo de la propuesta, debido a los altos costos que representa.

## D) Sistema de Biomasa

**Tabla 27**

*Costo de inversión del sistema de Biomasa*

Concepto	Descripción	Cálculo	Monto (S/)
Costo de Adquisición de la Biomasa	Costo promedio de biomasa por tonelada	S/ 300/tonelada	
Costo de Almacenamiento y Manipulación	Construcción y mantenimiento de estructuras de almacenamiento, manipulación y transporte	Estimado en S/ 10,000 por año	S/ 10,000
Costo de Equipamiento y Tecnología	Incluye caldera de biomasa, sistemas de alimentación, control y equipos de limpieza	S/ 150,000	S/ 150,000
Costo de Mantenimiento	Mantenimiento regular de la caldera, limpieza y reparación	Estimado en S/ 20,000 por año	S/ 20,000
Costo de Combustible Anual	Basado en 52 toneladas por año por vivienda y 34 viviendas	52 ton/año * 34 viviendas * S/ 300/ton = S/ 530,400	S/ 530,400
Costo Total Anual	Suma de todos los costos anuales	(almacenamiento) + (equipamiento) + (mantenimiento) + (combustible)	S/ 710,400

Nota: Elaboración propia

Por lo tanto, el costo final para suministrar energía a las 34 viviendas utilizando biomasa sería de S/ 710,400 por año. Dado esto, consideramos que este tipo de sistema no es aceptable para la propuesta, dado que el mismo supera los costos operativos propuestos.

En referencia al objetivo específico 4, se evaluaron las ventajas y desventajas del sistema fotovoltaico con seguidores solares en comparación con las fuentes de energía convencionales, en aspectos de sostenibilidad, impacto ambiental y confiabilidad del suministro.

**Tabla 28**

*Comparación del sistema fotovoltaico y un sistema eléctrico convencional, periodo 20 años*

Aspecto	Red Eléctrica Convencional	Generadores Diésel	Micro hidroeléctrica	Biomasa	Sistema Fotovoltaico
Costo Inicial	S/. 301.000	S/. 170.000	S/. 710,400	Varía	S/ 187.03
Costo Anual	S/. 17.000	S/ 24.48	S/ 710,400	S/ 530,400	-----
Costo Total para 20 Años	S/ 641.00	S/ 1.319.200	S/ 7.104.000	S/ 1.060.800	S/ 187.03
Ventajas Económicas	<p>Acceso a una fuente de energía confiable y estable. Menor inversión inicial que otros sistemas. Fuente de energía renovable y sostenible a largo plazo. Utiliza un recurso local y renovable. Potencial para reducir costos de energía a largo plazo. Reducción de facturas de energía a largo plazo. Bajo costo inicial en comparación con otros sistemas.</p>				
Desventajas Económicas	<p>Alto costo inicial debido a la necesidad de extender la red eléctrica. Altos costos de combustible a lo largo del tiempo. Dependencia de los precios del diésel. Elevado costo inicial de instalación. Costos de mantenimiento de equipos. Dependencia de la disponibilidad y precio de la biomasa. Necesidad de seguimiento y mantenimiento periódico. Costo inicial significativo debido a la compra de equipos y materiales.</p>				

Nota: Elaboración propia

Ventajas y Desventajas:

- Sostenibilidad e Impacto Ambiental:

Red Eléctrica Convencional: Impacto ambiental variable según la fuente de energía utilizada en la red.

Generadores Diésel: Generación de emisiones contaminantes y dependencia de combustibles fósiles.

Micro hidroeléctrica: Fuente de energía renovable y baja en emisiones, con un impacto ambiental positivo.

Biomasa: Uso de un recurso renovable pero posible impacto ambiental negativo debido a la deforestación o mal manejo de la biomasa.

Sistema Fotovoltaico con Seguidores Solares: Bajo impacto ambiental y uso de energía solar renovable.

- Confiabilidad del Suministro:

Red Eléctrica Convencional: Alta confiabilidad, pero vulnerabilidad a cortes de energía.

Generadores Diésel: Dependencia de combustibles fósiles y mantenimiento periódico.

Micro hidroeléctrica: Confiable siempre que haya un flujo constante de agua.

Biomasa: Dependencia de la disponibilidad de biomasa y eficiencia de la caldera.

Sistema Fotovoltaico con Seguidores Solares: Confiable siempre que haya suficiente radiación solar y mantenimiento adecuado.

En referencia al objetivo específico 5, se determinó la viabilidad económica del sistema propuesto mediante la tasa de recuperación de la inversión (PRI) y la tasa interna de retorno (TIR). Para ello, se identificó la depreciación anual de cada equipo, lo que es crucial para la planificación financiera y el análisis de costos a largo plazo de la propuesta.

**Tabla 29**

*Depreciación anual de los equipos*

Equipos	Ciclo de vida (años)	Cantidad	C. Unitario (S/)	C. Total (S/)	Depreciación/ Año (S/)
Panel solar 500W DEEP BLUE 3.0 mono JA SOLAR	25	34	S/ 450.00	S/ 15,300	S/ 612.00
Inversor Victron Phoenix 12V 375VA VE., Direct	10	34	S/ 320.00	S/ 10,880	S/ 1,088.00
Batería GEL 250Ah 12V Tensite	12	68	S/ 650.00	S/ 44,200	S/ 3,683.33
Desconector de baterías DC 600A 48Vdc	10	34	S/ 150.00	S/ 5,100	S/ 510.00
Motor	10	34	S/ 430.00	S/ 14,620	S/ 1,462.00
Sensores LDR	5	34	S/ 12.00	S/ 408	S/ 81.60
Controlador del motor	7	34	S/ 210.00	S/ 7,140	S/ 1,020.00
Microcontrolador Arduino Mega	10	34	S/ 150.00	S/ 5,100	S/ 510.00

Nota: Elaboración propia.

**Tabla 30**

*Total, de depreciación anual*

Concepto	Costo Total (S/)	Depreciación Anual (S/)
Total depreciación anual	S/ 64,032	S/ 5,366

Nota: Elaboración propia.

**Tabla 31***Análisis del gasto económico anual de las familias del Caserío Rama Serquén*

Tipo	Gasto mensual	Cantidad	Meses	Años	Final
Unidad de abonado	(a)				
doméstico	S/ 60.00	34	12	20	S/ 489.600

Nota: Gastos económico total.

Como puede verse del análisis de las tablas, el costo final para la implementación de la propuesta es de S/218,657. Así mismo pudo verse que la depreciación anual de los artefactos será de S/.5.942.72. Del mismo modo pudimos ver que el gasto económico que presentarán las 34 familias del Caserío Rama Serquén en el distrito de Ferreñafe, en un horizonte de 20 años será de S/ 489.600.

**Tabla 32**

*Flujo de caja proyectado en un horizonte de 20 años*

Concepto	Año 0 Monto (S/)	Año 1 Monto (S/)	Año 2 Monto (S/)	Año 3 Monto (S/)	Año 4 Monto (S/)	Año 5 Monto (S/)	Año 6 Monto (S/)	Año 7 Monto (S/)	Año 8 Monto (S/)	Año 9 Monto (S/)	Año 10 Monto (S/)
Inversión	S/ 244,722.										
<b>INGRESOS</b>											
Fondos generados		S/ 244,722.	S/ 244,722.	S/ 244,722.	S/ 244,722.	S/ 244,722.	S/ 244,722.	S/ 244,722.	S/ 244,722.	S/ 244,722.	S/ 244,722.
Depreciación de equipos		S/ 8,966.93	S/ 8,966.93	S/ 8,966.93	S/ 8,966.93	S/ 8,966.93	S/ 8,966.93	S/ 8,966.93	S/ 8,966.93	S/ 8,966.93	S/ 8,966.93
Depreciación Específica											
Panel solar 500W DEEP BLUE 3.0 mono JA SOLAR		S/ 612.00	S/ 612.00	S/ 612.00	S/ 612.00	S/ 612.00	S/ 612.00	S/ 612.00	S/ 612.00	S/ 612.00	S/ 612.00
Inversor Victron Phoenix 12V 375VA VE., Direct		S/ 1,088.00	S/ 1,088.00	S/ 1,088.00	S/ 1,088.00	S/ 1,088.00	S/ 1,088.00	S/ 1,088.00	S/ 1,088.00	S/ 1,088.00	S/ 1,088.00
Batería GEL 250Ah 12V Tensite		S/ 3,683.33	S/ 3,683.33	S/ 3,683.33	S/ 3,683.33	S/ 3,683.33	S/ 3,683.33	S/ 3,683.33	S/ 3,683.33	S/ 3,683.33	S/ 3,683.33
Desconector de baterías DC 600A 48Vdc		S/ 510.00	S/ 510.00	S/ 510.00	S/ 510.00	S/ 510.00	S/ 510.00	S/ 510.00	S/ 510.00	S/ 510.00	S/ 510.00
Motor		S/ 1,462.00	S/ 1,462.00	S/ 1,462.00	S/ 1,462.00	S/ 1,462.00	S/ 1,462.00	S/ 1,462.00	S/ 1,462.00	S/ 1,462.00	S/ 1,462.00
Sensores LDR		S/ 81.60	S/ 81.60	S/ 81.60	S/ 81.60	S/ 81.60	S/ 81.60	S/ 81.60	S/ 81.60	S/ 81.60	S/ 81.60
Controlador del motor		S/ 1,020.00	S/ 1,020.00	S/ 1,020.00	S/ 1,020.00	S/ 1,020.00	S/ 1,020.00	S/ 1,020.00	S/ 1,020.00	S/ 1,020.00	S/ 1,020.00
Microcontrolador Arduino Mega		S/ 510.00	S/ 510.00	S/ 510.00	S/ 510.00	S/ 510.00	S/ 510.00	S/ 510.00	S/ 510.00	S/ 510.00	S/ 510.00
<b>EGRESOS</b>											
Flujo Neto		S/ 9,526.12	S/ 9,526.12	S/ 9,526.12	S/ 9,526.12	S/ 9,526.12	S/ 9,526.12	S/ 9,526.12	S/ 9,526.12	S/ 9,526.12	S/ 9,526.12

Concepto	Año 11 Monto (S/)	Año 12 Monto (S/)	Año 13 Monto (S/)	Año 14 Monto (S/)	Año 15 Monto (S/)	Año 16 Monto (S/)	Año 17 Monto (S/)	Año 18 Monto (S/)	Año 19 Monto (S/)	Año 20 Monto (S/)
Inversión										
INGRESOS										
Fondos generados	S/ 244,722.	S/ 244,722.	S/ 244,722.	S/ 244,722.	S/ 244,722.	S/ 244,722.	S/ 244,722.	S/ 244,722.	S/ 244,722.	S/ 244,722.
Depreciación de equipos	S/ 8,966.93	S/ 8,966.93	S/ 8,966.93	S/ 8,966.93	S/ 8,966.93	S/ 8,966.93	S/ 8,966.93	S/ 8,966.93	S/ 8,966.93	S/ 8,966.93
Depreciación Específica										
Panel solar 500W DEEP BLUE 3.0 mono JA SOLAR	S/ 612.00	S/ 612.00	S/ 612.00	S/ 612.00	S/ 612.00	S/ 612.00	S/ 612.00	S/ 612.00	S/ 612.00	S/ 612.00
Inversor Victron Phoenix 12V 375VA VE., Direct	S/ 1,088.00	S/ 1,088.00	S/ 1,088.00	S/ 1,088.00	S/ 1,088.00	S/ 1,088.00	S/ 1,088.00	S/ 1,088.00	S/ 1,088.00	S/ 1,088.00
Batería GEL 250Ah 12V Tensite	S/ 3,683.33	S/ 3,683.33	S/ 3,683.33	S/ 3,683.33	S/ 3,683.33	S/ 3,683.33	S/ 3,683.33	S/ 3,683.33	S/ 3,683.33	S/ 3,683.33
Desconector de baterías DC 600A 48Vdc	S/ 510.00	S/ 510.00	S/ 510.00	S/ 510.00	S/ 510.00	S/ 510.00	S/ 510.00	S/ 510.00	S/ 510.00	S/ 510.00
Motor	S/ 1,462.00	S/ 1,462.00	S/ 1,462.00	S/ 1,462.00	S/ 1,462.00	S/ 1,462.00	S/ 1,462.00	S/ 1,462.00	S/ 1,462.00	S/ 1,462.00
Sensores LDR	S/ 81.60	S/ 81.60	S/ 81.60	S/ 81.60	S/ 81.60	S/ 81.60	S/ 81.60	S/ 81.60	S/ 81.60	S/ 81.60
Controlador del motor	S/ 1,020.00	S/ 1,020.00	S/ 1,020.00	S/ 1,020.00	S/ 1,020.00	S/ 1,020.00	S/ 1,020.00	S/ 1,020.00	S/ 1,020.00	S/ 1,020.00
Microcontrolador Arduino Mega	S/ 510.00	S/ 510.00	S/ 510.00	S/ 510.00	S/ 510.00	S/ 510.00	S/ 510.00	S/ 510.00	S/ 510.00	S/ 510.00
EGRESOS										
Flujo Neto	S/ 9,526.12	S/ 9,526.12	S/ 9,526.12	S/ 9,526.12	S/ 9,526.12	S/ 9,526.12	S/ 9,526.12	S/ 9,526.12	S/ 9,526.12	S/ 9,526.12

Nota: Elaboración propia



Cálculo del PRI:

$$PRI = a + \frac{(b-c)}{d} \quad PRI = 11 + \frac{(S/ 244,722.- 226,500.58)}{18,221.42} = 11 + \frac{(18,221.42)}{18,221.42} = PRI = 12$$

Donde:

a = Año inmediato anterior en que se recupera la inversión = Año 11.

b = Inversión Inicial= S/ 244,722.

c = Flujo de Efectivo Acumulado del año inmediato anterior en el que se recupera la inversión= -S/ 18,221.38

d = Flujo de efectivo del año en el que se recupera la inversión= S/ 18,221.42

**Tabla 33**

*Flujo de caja*

Año	Flujo de Caja (S/)	Flujo de Caja Acumulado (S/)
0	-S/ 218,657	- S/ 244,722.
1	S/ 18,221.42	-S/ 200,435.58
2	S/ 18,221.42	-S/ 182,214.16
3	S/ 18,221.42	-S/ 163,992.74
4	S/ 18,221.42	-S/ 145,771.32
5	S/ 18,221.42	-S/ 127,549.90
6	S/ 18,221.42	-S/ 109,328.48
7	S/ 18,221.42	-S/ 91,107.06
8	S/ 18,221.42	-S/ 72,885.64
9	S/ 18,221.42	-S/ 54,664.22
10	S/ 18,221.42	-S/ 36,442.80
11	S/ 18,221.42	-S/ 18,221.38
12	S/ 18,221.42	S/ 0
13	S/ 18,221.42	S/ 18,221.42
14	S/ 18,221.42	S/ 36,442.84
15	S/ 18,221.42	S/ 54,664.26
16	S/ 18,221.42	S/ 72,885.68
17	S/ 18,221.42	S/ 91,107.10
18	S/ 18,221.42	S/ 109,328.52
19	S/ 18,221.42	S/ 127,549.94
20	S/ 18,221.42	S/ 145,771.36

Nota: Inversión del total de 20 años.

## CAPITULO V. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Se determinó la viabilidad económica del sistema propuesto identificándose que la inversión inicial se recuperará en un período de 12 años, con un período de ganancia del proyecto a partir del décimo segundo año en adelante. Este hallazgo indica que el proyecto ofrece una perspectiva favorable para la rentabilidad a largo plazo. La tasa de recuperación de la inversión y la tasa interna de retorno respaldan la viabilidad financiera del proyecto, destacando su capacidad para generar retornos económicos sostenibles y contribuir de manera positiva a la economía y al medio ambiente a largo plazo.

Esta investigación presenta relación con el estudio de Alarcón & Paredes (2018) quienes desarrollaron un plan de negocios para la generación de energía renovable, con el objetivo de producir 25,000 MW/h por año durante un periodo de 20 años, asegurando una rentabilidad superior al 10%. Los resultados obtenidos revelan una rentabilidad del 16.6% para los accionistas a un precio de USD 48.5 por MW/h, y del 10.7% a un precio de USD 45 por MW/h, estableciendo este rango como base para la oferta inicial. El proyecto consideró un factor de carga conservador de 0.29, en comparación con los factores de carga más altos observados en plantas operativas, que pueden llegar hasta 0.33. Además, se evidenció una significativa reducción en la inversión necesaria para estos proyectos, gracias al periodo de recuperación.

Se realizó un análisis detallado de las necesidades energéticas de la comunidad de Rama Serquén con seguidores solares para abastecer de energía eléctrica a las 34 viviendas, por lo cual, se diseñó un sistema fotovoltaico con un ciclo de vida superior a 20 años. Esto incluirá componentes esenciales como reguladores de carga, con una vida útil estimada de 10 años, y baterías con un ciclo de vida proyectado de 20 años. La selección de estos componentes garantiza su eficiencia y durabilidad, y se han integrado otros elementos esenciales para el correcto funcionamiento del sistema. Este enfoque integral, asegura una implementación efectiva y sostenible del sistema fotovoltaico con seguidores solares en Rama Serquén.

Esto presenta relación con el estudio de Pérez, D. (2019) quien determinó que la calificación eléctrica estándar para un centro poblado es de 200 W por lote, según las normativas de OSINERMIN. Sin embargo, esta cantidad resulta insuficiente para cubrir las necesidades básicas de una vivienda y promover el desarrollo económico y la mejora en la calidad de vida. Varios autores mencionados en el capítulo 6 señalan que, en promedio,

se requieren hasta 600 W por lote en áreas como la Costa. Por lo tanto, se debe seleccionar una potencia que se encuentre dentro de este rango para dimensionar los equipos, asegurando así el cumplimiento de las normativas y proporcionando suficiente energía para satisfacer las necesidades de los ciudadanos. Considerando los aparatos eléctricos típicamente utilizados en zonas rurales, se determinó una potencia total de 405 W, distribuida en 10 equipos. Al tener en cuenta el tiempo promedio de funcionamiento de estos equipos durante un día, se estimó un consumo diario de energía de 1055 Wh. Dado esto, se diseñó un sistema de seguimiento lumínico que incrementa la producción energética en un 21%. Aunque este avance conlleva un aumento del 32% en los costos del proyecto, los beneficios adicionales que ofrece compensan esta inversión adicional para los usuarios.

Se evaluaron los costos totales del proyecto para suministrar energía a 34 unidades de vivienda en Rama Serquén, la compra de materiales representa un total de S/ 166,050.77. Por otro lado, la instalación tiene un costo de S/ 42,583.80, y el transporte de los materiales se estima en S/ 14,195. Asimismo, se ha previsto un gasto de S/ 9,520 para el mantenimiento del sistema. En conjunto, estos costos suman S/ 233,069. A este subtotal se le añadirá un porcentaje adicional del 5%, equivalente a S/ 11,653, para cubrir otros gastos imprevistos. Por lo tanto, el total de la inversión requerida para el proyecto alcanza los S/ 244,722.

Esto presenta relación con el estudio de Vaziri et al. (2020) quienes determinaron el escenario óptimo para la generación de electricidad en 100 hogares en Irán, cumpliendo con los estándares de emisiones aceptables. Analizaron tecnológicamente diversas configuraciones de sistemas fotovoltaicos, incluyendo seguimiento solar, y evaluaron su impacto ambiental. Descubrieron que los sistemas de seguimiento solar reducen la cantidad de paneles necesarios, aunque su alto costo puede afectar la viabilidad económica. El sistema de control vertical fue el más rentable, con un costo energético de \$0.241 por kWh y un aumento del 23% en la producción de energía. Los seguidores de dos ejes, aunque generan un 32% más de energía, resultaron menos económicos. El análisis de sensibilidad reveló que el costo energético óptimo oscila entre \$0.227 y \$0.255 por kWh, dependiendo de varios factores. La metodología detallada proporciona una base sólida para interpretar y aplicar los resultados del estudio.

Se exploraron otras alternativas de suministro de energía en la zona, y se determinó que los costos operativos estimados para el suministro de energía de fuentes convencionales eran significativamente más altos en comparación con el sistema de energía solar

fotovoltaico. Los valores comparativos son los siguientes: Sistema de Red Eléctrica Convencional: S/ 1,178,200 Sistema con Generadores Diésel: S/ 584,800 (para 10 años) Micro Hidroeléctrica: S/ 1,000,000 Sistema de Biomasa: S/ 11,358,000 Sistema de Energía Solar Fotovoltaica: S/ 187,029 El análisis muestra que el uso de paneles solares es más rentable y sostenible a largo plazo, con un periodo de recuperación de la inversión en 12 años y posteriores de ganancia.

Esto presenta relación con el estudio de Aquino y Canales (2022) quienes evaluaron el rendimiento de un seguidor solar de dos ejes con células fotovoltaicas a altitudes superiores a 3,800 m.s.n.m. mediante un sistema de seguimiento solar automatizado. Compararon su rendimiento con un sistema solar fijo y buscaron optimizar la generación de energía en áreas con cambios climáticos severos. Los resultados mostraron que el seguidor solar superó al sistema fijo, alcanzando un pico mensual un 37,63% mayor y una producción de energía más alta en días soleados. Aunque la eficiencia fue menor en días lluviosos, el análisis reveló un efecto positivo de la lluvia en la limpieza de los módulos solares. El seguidor solar demostró un rendimiento superior y una mayor eficiencia en la sierra peruana, adaptándose eficazmente al cambio climático regional.

Se evaluaron las ventajas y desventajas del sistema fotovoltaico con seguidores solares en comparación con las fuentes de energía convencionales, destacándose que los sistemas fotovoltaicos ofrecen beneficios en términos de sostenibilidad y reducción del impacto ambiental, mantenimiento sencillo, energía continúa dado que nunca se agota, es renovable, genera una baja emisión de gases contaminantes, o generan residuos, etc. Sin embargo, presentan como desventaja un elevado costo de inversión inicial, favorecen desarrollo de nuevas tecnologías y dependencia del clima. En contraposición con los sistemas eléctricos convencionales que presentan como ventaja una mayor disponibilidad inmediata, infraestructura establecida, menor costo inicial de implementación para algunas tecnologías. Sin embargo, presenta como desventaja que generan una contaminación del aire y del agua, dependencia de recursos no renovables, vulnerabilidad a fluctuaciones en los precios del combustible, implicaciones en la seguridad y el medio ambiente durante la extracción y el transporte. La elección busca encontrar un equilibrio entre la necesidad de una fuente de energía limpia y renovable y la consideración de factores económicos y de confiabilidad del suministro. Cabe destacar que, la transición hacia fuentes de energía más sostenibles requiere tener presente estas consideraciones para lograr un sistema energético más equilibrado y sostenible para el futuro.

De acuerdo con el (Ministerio de Energía y Minas). La opción más viable para electrificar zonas rurales es mediante sistemas fotovoltaicos adaptados a sus necesidades. Sin embargo, la falta de información limita la participación del sector privado. El gobierno peruano ha incrementado la cobertura eléctrica del 76.0% al 91% para 2013 y destinó 8,009,337 nuevos soles en 2016 para beneficiar a 48 localidades, incluido el distrito de Incahuasi. Por lo cual, se identificó relación con el estudio de Pérez, D. (2019) quien evaluó la viabilidad de un sistema fotovoltaico con seguidores solares. Los precios de la estructura y costos de los diversos equipos del sistema de generación y del sistema de seguimiento lumínico, ascendieron a S/. 13,572.47 nuevos soles. Para comparar, se realizaron cálculos de presupuesto bajo las mismas condiciones del proyecto, pero sin el seguimiento lumínico. Para esto, se agregó un costo para una estructura estándar obtenida del Distribuidor Auto Solar, resultando en un total de S/. 10,129.55 nuevos soles. Esto indica que la inversión requerida para el sistema con seguimiento lumínico es un 34% mayor que la del sistema sin él. Sin embargo, diversos estudios realizados por autores sugieren que los sistemas con seguidores solares pueden aumentar la producción de energía en un promedio del 21%, lo que resulta ser una mejora considerable en comparación con los sistemas fotovoltaicos convencionales.

## **CAPITULO VI. CONCLUSIONES**

Se determinó que el proyecto es técnico económicamente viable, estableciéndose que la recuperación de la inversión inicial se logrará a partir del décimo segundo año. Tanto la tasa de recuperación de la inversión como la tasa interna de retorno respaldan su viabilidad financiera, subrayando su potencial para generar retornos sostenibles y contribuir al desarrollo económico y ambiental a largo plazo.

Se determinaron las necesidades energéticas y la radiación solar en la comunidad de Rama Serquén, para el diseño del sistema fotovoltaico con seguidores solares para abastecer de energía a las 34 viviendas. Este sistema, con un ciclo de vida de 20 años, incluirá componentes seleccionados para garantizar eficiencia y durabilidad, suministrando energía renovable con menor afectación al medio ambiente.

Se evaluaron los costos totales del proyecto para suministrar energía a 34 unidades de vivienda en Rama Serquén, la inversión total requerida asciende a S/ 244,722. Este monto incluye S/ 166,050.77 para la compra de materiales, S/ 42,583.80 para la instalación, S/ 14,195 en transporte y S/ 9,520 para el mantenimiento del sistema. Se ha considerado un 5% adicional del subtotal para cubrir gastos imprevistos.

Se evaluaron distintas opciones de suministro eléctrico para la zona. Se encontró que las alternativas convencionales tenían costos operativos más elevados en comparación con la energía solar fotovoltaica. Los valores comparativos son los siguientes: - Red Eléctrica Convencional: S/ 1,178,200 - Generadores Diésel: S/ 584,800 (para 10 años) - Micro Hidroeléctrica: S/ 1,000,000 - Biomasa: S/ 11,358,000 - Energía Solar Fotovoltaica: S/ 187,029. Este análisis resalta la rentabilidad y sostenibilidad a largo plazo de la energía solar, con un periodo de recuperación de 12 años y ganancias posteriores.

Se evaluaron las ventajas económicas y desventajas de varios sistemas energéticos. La red eléctrica convencional y los generadores diésel ofrecen acceso confiable a la energía con diferentes costos iniciales y dependencias de combustibles. La micro hidroeléctrica y la biomasa son opciones sostenibles con costos predecibles, mientras que los sistemas fotovoltaicos con seguidores solares requieren una inversión inicial alta pero ofrecen ahorros significativos a largo plazo y utilizan recursos renovables.

## **CAPITULO VII. RECOMENDACIONES**

Se recomienda a las entidades municipales y estatales considerar la inversión en proyectos similares que demuestren una recuperación de la inversión en un plazo razonable, como en este caso, a partir del décimo segundo año. Esta rentabilidad a largo plazo, respaldada por la tasa interna de retorno, puede servir como un modelo a seguir para impulsar el desarrollo económico y ambiental de la región.

Se recomienda a las autoridades municipales y estatales considerar la instalación de sistemas fotovoltaicos con seguidores solares en comunidades con necesidades energéticas similares a las de Rama Serquén. Esta iniciativa garantiza no solo una fuente de energía sostenible y renovable, sino también la reducción de la huella ambiental y la mejora de la calidad de vida de los residentes.

Se recomienda a las entidades optimizar los costos en proyectos de suministro de energía mediante la negociación de precios para materiales y servicios de instalación y mantenimiento. Esta práctica puede maximizar los beneficios económicos, ambientales y la rentabilidad de las inversiones en energía renovable, reduciendo los tiempos de recuperación de inversión y generando mayores ganancias.

Se recomienda a las autoridades a priorizar la transición hacia fuentes de energía renovable, como los paneles solares, sobre las fuentes de energía convencionales. Esta medida no solo promueve la sostenibilidad ambiental, sino que también puede generar beneficios económicos a largo plazo y reducir la dependencia de recursos no renovables.

Se recomienda a las entidades municipales y estatales implementar políticas y programas de promoción y apoyo a la energía solar, como incentivos fiscales y financiamiento para la instalación de sistemas fotovoltaicos en hogares y comunidades. Esto puede acelerar la adopción de energías renovables y contribuir significativamente a la mitigación del cambio climático.

Se recomienda realizar estudios prospectivos sobre el impacto a largo plazo de la energía solar en comunidades, abordando aspectos como desarrollo económico, estabilidad energética, calidad de vida y reducción de emisiones de gases de efecto invernadero. Estos estudios también deben investigar estrategias para superar posibles barreras técnicas, financieras o sociales durante la transición hacia la energía solar.

## REFERENCIAS

- Abu Hanieh, A. (2010). Solar photovoltaic panels tracking system. 30–37. [https://www.researchgate.net/publication/261859974\\_Solar\\_photovoltaic\\_panels\\_tracking\\_system](https://www.researchgate.net/publication/261859974_Solar_photovoltaic_panels_tracking_system)
- Acosta, E., & Riveros, J. (2015). Estudio de factibilidad técnica de una solución eléctrica de uso residencial con paneles solares en el municipio Sahagún departamento de Córdoba de la costa norte colombiana. Bogotá: Universidad Santo Tomas de Aquino, Bogotá. <https://acortar.link/WRjIvE>
- Alarcón, C., & Paredes, C. (2018). Plan de Negocios para la Generación de Energía Renovable – Tecnología Solar. Lima: Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas (UPC). <https://acortar.link/o7FtvM>
- Alomar, O. R., Ali, O. M., Ali, B. M., Qader, V. S., & Ali, O. M. (2023). Energy, exergy, economic and environmental analysis of photovoltaic solar panel for fixed, single and dual axis tracking systems: An experimental and theoretical study. <https://doi.org/10.1016/j.csite.2023.103635>
- Andrade, M. G. (2015). Repotenciación del panel solar ubicado en el Laboratorio de Electrónica para utilizarlo como fuente emergente de iluminación. Loja: Universidad Nacional de Loja. <https://dspace.unl.edu.ec/jspui/handle/123456789/18148>
- Angus, & Katona. (1953). The Sample Survey: A Technique for Social Science Research. New York: Research Methods in the Behavioral Sciences. <https://www.jstor.org/stable/1169189>
- Aquino, E. R., & Canales, A. (2022). Solar Tracking System with Photovoltaic Cells: Experimental Analysis at High Altitudes. \*International Journal of Renewable Energy Development, 11(3), 630-639. <https://doi.org/10.14710/ijred.2022.43572>
- Auto Solar (2024). Consumo energético familiar en Perú. Sitio web: <https://autosolar.pe/ahorro-de-energia/consumo-energetico-familiar-en-peru#:~:text=Una%20familia%20consume%20un%20promedio,todas%20las%20regiones%20del%20pa%C3%ADs>.
- Auto solar (2024). Panel Solar 500W Deep Blue 3.0 JA Solar. <https://autosolar.pe/paneles-solares-24v/panel-solar-500w-deep-blue-30-ja-solar>



- Auto Solar (2024). Inversor Cargador 3000W 24V MPPT 60<sup>a</sup>. <https://cdn.autosolar.es/pdf/FICHA-INVERSOR-MUST-3000W-24V-MPPT50.pdf>
- Auto Solar (2024). Batería GEL 250Ah 12V Tensite. [https://cdn.autosolar.pe/pdf/Ficha-tecnica-Tensite-bateria-GEL-12-250\\_V1.pdf](https://cdn.autosolar.pe/pdf/Ficha-tecnica-Tensite-bateria-GEL-12-250_V1.pdf)
- Auto Solar (2024). Consumo energético familiar en Perú. Sitio web: <https://autosolar.pe/ahorro-de-energia/consumo-energetico-familiar-en-peru#:~:text=Una%20familia%20consume%20un%20promedio,todas%20las%20regiones%20del%20pa%C3%ADs.>
- Banco de Reserva del Perú (2023). Las tarifas eléctricas residenciales en las regiones del Perú. <https://www.bcrp.gob.pe/docs/Publicaciones/Revista-Moneda/moneda-196/moneda-196-12.pdf>
- Banco Interamericano de Desarrollo (BID). (2019). Acceso y la asequibilidad de la energía eléctrica en América Latina y el Caribe Año 2019. <https://interactive-publications.iadb.org/La-brecha-de-infraestructura-en-America-Latina-y-el-Caribe>
- Banco Mundial (2014). Electricidad para las comunidades rurales en el Perú. Sitio web septiembre 24, 2014. <https://www.bancomundial.org/es/results/2014/09/24/peru-brings-electricity-to-rural-communities>
- Boyle, G. (2004). Renewable Energy: Power for a Sustainable Future (Vol. II). Oxford: Oxford University Press. Obtenido de Efecto Fotovoltaico. [https://www.scirp.org/\(S\(lz5mqp453edsnp55rrgjt55\)\)/reference/ReferencesPapers.aspx?ReferenceID=1735679.](https://www.scirp.org/(S(lz5mqp453edsnp55rrgjt55))/reference/ReferencesPapers.aspx?ReferenceID=1735679)
- BP Global. (2017). Energía renovable. <https://www.bp.com/en/global/corporate/energy-economics/statistical-review-of-world-energy/renewable-energy/renewable-power.html>
- BP Global. (2017). Energía solar. <https://www.bp.com/en/global/corporate/energy-economics/statistical-review-of-world-energy/renewable-energy/solar-energy.html>
- Cámara Oviedo (2020). Viabilidad Económica de un proyecto. Máster de la Cámara de Comercio de Oviedo. Da un impulso a tu desarrollo profesional con el mejor MBA en Asturias. <https://acortar.link/xeD96v>
- Capital Energy. (2015). The diagram of solar trajectories. Obtenido de <http://capitalenergy.biz/?p=13367>

- Clare, S. (2001). La física del medio ambiente. Londres, Reino Unido: Routledge.
- Climascope. (2017). Rendimiento de energía en Perú. Obtenido de <http://global-climatescope.org/en/country/peru/#/enabling-framework>
- Chávez, E., y Rodríguez, L. (2018). Análisis de confiabilidad y validez de un cuestionario  
Revista Ensayos Pedagógicos.13 (1),71-106 Fecha 21 de Mayo Universidad de  
Costa Rica.  
<file:///C:/Users/PC/Downloads/DialnetAnalisisDeConfiabilidadYValidezDeUnCuestionarioSob-7038088.pdf>
- Dankoff, W. (2001). How to Choose an Inverter for an Independent Energy System.  
Arizona.
- Dudovskiy, J. (2018). The Ultimate Guide to Writing a Dissertation in Business Studies: A  
Step-by-Step Assistance. Inglaterra. <https://acortar.link/4Y6vkL>
- Fedkin, M. (2013). Available Solar Radiation and How It Is Measured. <https://www.e-education.psu.edu/eme812/node/644>
- Fierro, J, & Mantilla, N. (2017). Diseño De Un Sistema De Energía Alternativa Solar Para  
Conectar Los Servicios Auxiliares De Corriente Continua En Cinco Subestaciones  
Eléctricas De Codensa S.A. Esp. En Bogotá. Bogotá, D.C. Universidad Distrital  
Francisco José de Caldas.  
<https://repository.udistrital.edu.co/handle/11349/5876?show=full>
- Fresh, S. (2017). ¿Qué es la tecnología fotovoltaica? Recuperado el 04 de marzo de 2018,  
de <http://www.afreshsqueeze.com/photovoltaic.php>
- García, C., & León de la Rosa,( 2022). Tecnoeconomías del Este de Asia: una visión de  
desarrollo hacia la nueva normalidad. Transitare. 8. 86-113. <https://acortar.link/t0fW9q>
- Garner, R. (27 de noviembre de 2017). NASA. Recuperado el 03 de abril de 2018, de  
Radiacion solar: [https://www.nasa.gov/mission\\_pages/sdo/science/solar-irradiance.html](https://www.nasa.gov/mission_pages/sdo/science/solar-irradiance.html)
- Gómez, F. L. (2015). Sistema Fotovoltaico para el ahorro de energía eléctrica en el servicio  
de alumbrado general de Condominios. Huancayo: Universidad Nacional del Centro  
del Perú. <https://repositorio.uncp.edu.pe/handle/20.500.12894/3926>

- Greenough River Solar Farm. (2017). What is solar energy? Recuperado el abril de 2018, de <http://www.greenoughsolarfarm.com.au/solar-energy/what-solar-energy>
- Hosseini Dehshiri, S. S., & Firoozabadi, B. (2022). Comparison, evaluation, and prioritization of solar photovoltaic tracking systems using multi-criteria decision-making methods. *Solar Energy: A Journal of the International Solar Energy Society*, 233, 102989. <https://doi.org/10.1016/j.seta.2022.102989>
- International Bureau of Weights and Measures. (2006). El Sistema Internacional de Unidades. París. [https://www.cem.es/sites/default/files/30362\\_elsistemainternacionaldeunidades\\_web\\_0.pdf](https://www.cem.es/sites/default/files/30362_elsistemainternacionaldeunidades_web_0.pdf)
- Isern, I., Segura, P., & Aguilar, G. (2012). Cómo elaborar y presentar un proyecto de investigación, una tesina y una tesis. Barcelona: Publicacions y Edicion de la universitat de Barcelona. <http://www.publicacions.ub.edu/refs/indices/07632.pdf>
- Jamroen, C., Fongkerd, C., Krongpha, W., Komkum, P., Pirayawaraporn, A., & Chindakham, N. (2021). A novel UV sensor-based dual-axis solar tracking system: Implementation and performance analysis. *Applied Energy*, 299(June), 117295. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2021.117295>
- Kopp, G., & Lean, J. L. (2011). A new, lower value of total solar irradiance: Evidence and climate significance. *Geophysical Research Letters*. <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1029/2010GL045777>
- Laboratorio nacional de energía renovable. (2016). Solar Energy Local. Obtenido de <https://solarenergylocal.com/states/indiana/peru/>
- LAMIGUEIRO, O. P. (2018). Energía Solar Fotovoltaica. España: Creative Commons. <https://oscarperpinan.github.io/esf/>
- Leonics, C. O. (2015). Productos de conservación de energía. Recuperado el 03 de Abril de 2018, de [http://www.leonics.com/product/renewable/pv\\_module/pv\\_module\\_en.php](http://www.leonics.com/product/renewable/pv_module/pv_module_en.php)
- Lijun, Z. (2019) The University of Western Australia. A study of solar photovoltaic systems and its applications in modern power systems Electrical and Electronic Engineering. <https://acortar.link/xxopM1>

- Lu, T., Geng, Y., Zhang, Y., Zhang, Y., & Wang, H. (2023). Testing the effectiveness of deploying distributed photovoltaic power systems in residential buildings: Evidence from rural China. *Environmental Impact Assessment Review*, 104, 107300. <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2023.107300>
- Machado, N., Lussón, A., Leysdian, L., Bonzon, J., & Escalona, O. (2015). Seguidor Solar, optimizando el aprovechamiento de la energía solar. *Ingeniería Energética*, 190-199. <https://www.redalyc.org/pdf/3291/329138826008.pdf>
- Mahtani, N. (2022, 10 de enero). Pobreza energética: la oscuridad que mata. “El País”. <https://elpais.com/planeta-futuro/2022-01-11/pobreza-energetica-la-oscuridad-que-mata.html>
- Meier, P., Tuntivate, V., Barnes, D., Bogach, S., & Farchy, D. (2010). Peru: National Survey of Rural Household Energy Use. Washington: The International Bank for Reconstruction. [https://energypedia.info/images/9/97/ESMAP\\_PeruNationalSurvey\\_Web\\_0.pdf](https://energypedia.info/images/9/97/ESMAP_PeruNationalSurvey_Web_0.pdf)
- Ministerio de Energía y Minas (MINEM). Proyectos de centrales eléctricas. <https://www.gob.pe/es/n/749881>
- Monsalve, P. A. (2016). Viabilidad de la implementación de un sistema fotovoltaico para el suministro eléctrico de una mina en el municipio de Sardinata. Cúcuta - Colombia: Revista Mundo Fesc. <https://www.fesc.edu.co/Revistas/OJS/index.php/mundofesc/article/view/107>
- National Oceanic & Atmospheric Administration. (2018). NOAA. WORLD OCEAN DATABASE 2018 Pre-release Recuperado el abril de 2023, de Solarimeter: <http://www.photolib.noaa.gov/htmls/ship4461.htm>
- Niño, J. L. (2017). Implementación del sistema de energía solar fotovoltaico y facturación por consumo de energía en la Municipalidad Distrital de Morococha, Yauli-Junín. Huancayo: Universidad Continental. <https://repositorio.continental.edu.pe/handle/20.500.12394/3841>
- Organización de Naciones Unidas. (2019). Objetivo 7: Energía asequible y no contaminante. Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS). <https://www.undp.org/es/sustainable-development-goals/energia-asequible-no-contaminante>

- Osinermin. (2016). La industria de la electricidad en el Perú: 25 años de aportes al crecimiento económico del país. Lima: Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería. <https://acortar.link/dRvzp8>
- Ozgur. (2013). Factores principales que determinan el potencial de energía solar. Obtenido de <https://sunmetrix.com/top-five-factors-determining-solar-energy-potential/>
- Padilla, R., Chamba Me., Sarango, L., Jiménez L. (2022). Diseño e Implementación de un Seguidor Solar para Aumentar el Rendimiento de Generación. Ciencias Técnicas y Aplicadas Artículo de Investigación. <file:///C:/Users/DELL/Downloads/Dialnet-DiseñoImplementaciónDeUnSeguidorSolarParaAumentar-8399921.pdf>
- Ravado, R. (2017). Vatios, amperios y voltios y cómo entender la electricidad. Obtenido de <https://owlcation.com/stem/Watt-are-Amps-and-Volts>
- Raymond, F., Fonash, S., & Stephen, J. (2016). Célula solar. Obtenido de <https://www.britannica.com/technology/solar-cell>
- Repsol (2024). ¿Qué es la energía solar y qué beneficios tiene? Aprovechando al máximo la energía del Sol. Sitio web: <https://www.repsol.com/es/energia-futuro/futuro-planeta/energia-solar/index.cshtml>
- Rouse, M. (junio de 2008). Electric power. Obtenido de <https://whatis.techtarget.com/definition/power>
- Santesteban, E. (2020). Efecto fotovoltaico en un Panel Solar. Energía Solar. <https://eliseosebastian.com/efecto-fotovoltaico-en-un-panel-solar/>
- Santesteban, E. (2020). Paneles solares en serie y en paralelo, Energía Solar. <https://eliseosebastian.com/sistemas-de-paneles-solares-en-serie-y-paralelo/>
- Seme, S., Štumberger, B., Hadziselimovic, M., & Sredenšek, K. (2020). Solar Photovoltaic Tracking Systems for Electricity Generation: A Review. Energies, 13(16), 4224. <https://doi.org/10.3390/en13164224>
- SENAMHI (2003). Atlas de energía solar. Repositorio Institucional SENAMHI. <https://repositorio.senamhi.gob.pe/handle/20.500.12542/343>
- Sharma, V., & Tayal, V. K. (2018). Hardware implementation of sun tracking Solar panel using 8051 micro- controller. 2017 6th International Conference on Reliability,

- Infocom Technologies and Optimization: Trends and Future Directions, ICRITO 2017, 2018-Janua, 483–486. <https://doi.org/10.1109/ICRITO.2017.8342475>
- Solar Calculator. (2017). Almacenamiento de Batería Solar. Obtenido de <https://solarcalculator.com.au/solar-battery-storage/>
- Solar Direct. (2016). Solar Electric Photovoltaic Modules. Obtenido de <http://www.solardirect.com/pv/pvlist/pvlist.htm>
- Vaziri Rad, M. A., Toopshekan, A., Rahdan, P., Kasaeian, A., & Mahian, O. (2020). A comprehensive study of techno-economic and environmental features of different solar tracking systems for residential photovoltaic installations. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 129, 109923. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.109923>
- World Health Organization.OMS (2023). Tracking SDG7: The Energy Progress Report 2023. <https://acortar.link/O4xC0D>

## ANEXOS

### Anexo 1

a. Realización del cálculo de la demanda de energía eléctrica del caserío de Rama Serquen

#### GUIA DE OBSERVACIÓN

LOCALIDAD: CASERÍO RAMA SERQUEN

#### 1. UBICACIÓN

1.1                      Depart:      Provincia: CHICLAYO                      Distrito: FERREÑAFE  
LAMBAYEQUE

1.2 Altitud: 1780 msnm

1.3 Latitud: 6°                      21´  
52,656"

1.4 Longitud:                      77° 54´  
8,525"

#### 2. POBLACION

2.1 Número total de 34  
viviendas:

2.2 Número total de 170  
habitantes:

#### 3. VIVIENDAS

3.1 Tipos de viviendas:                      Particulares

3.2 Número de piezas de las viviendas: 4

3.3 Material predominante de las Adobe  
viviendas:

#### **4.SALUD**

4.1 Existe puesto de es salud en la No  
localidad:

4.2 Cual es el más cercano: Está ubicado en Magdalena

#### **5. EDUCACION**

5.1 Existen centros de educación en la No  
localidad:

5.2 Cual es el más cercano: Está ubicado el caserío El Triunfo

#### **1. ACTIVIDADES ECONOMICAS**

6.1Agricultura *si* Productos principales de cultivo: Papa, Arveja,

6.2Ganaderia *si* Tipo de ganado: Caprino

1. Comercio *si* Tipo de comercio: Compra y venta de verduras

2. Otra actividad *si* Tipo de actividad: Artesanía

Mediante la guía de observación determinamos que existen un total de 34 abonados en el centro poblado en estudio.



## Anexo 2

FORMATO DE ENCUESTA									
LOCALIDAD: CASERÍO RAMA SERQUEN									
<b>1. UBICACIÓN</b>									
1.1 Departam:	<u>Lambayeque</u>	Provincia:	<u>Ferreñafe</u>	Distrito:	<u>Ferreñafe</u>				
1.2 Altitud:	<u>1780 msnm</u>								
1.3 Latitud:	<u>6° 21' 52,656"</u>								
1.4 Longitud:	<u>77° 54' 8,525"</u>								
<b>2. COMUNICACIONES</b>									
2.1 ¿que medio utiliza para comunicarse con la capital e su distrito?									
camino de herradura	<input checked="" type="checkbox"/>	rio	<input type="checkbox"/>						
carretera	<input checked="" type="checkbox"/>	otro:	<input type="checkbox"/>						
2.2 ¿Qué distancia hay entre su localidad con :									
la capital del distrito:	KM	<u>45</u>	horas	<u>2.5</u>					
la capital de la provincia:	KM	<input type="checkbox"/>	horas	<input type="checkbox"/>					
2.3 su localidad cuenta con servicios de:									
club de madres	<input type="checkbox"/>	internado	<input type="checkbox"/>	P.N.P	<input type="checkbox"/>				
local comunal	<input checked="" type="checkbox"/>	telefono	<input type="checkbox"/>	radio	<input type="checkbox"/>				
<b>3. SERVICIOS BASICOS</b>									
3.1 ¿cuentan con agua potable?				piletas	<input checked="" type="checkbox"/>	domiciliaria	<input type="checkbox"/>		
3.2 ¿cuentan con instalaciones sanitarias?				letrinas	<input checked="" type="checkbox"/>	desague	<input type="checkbox"/>		
<b>4. ENERGIA</b>									
4.1 ¿tiene energia electrica? indique de que tipo: <u>Generadores a gasolina</u>									
4.2 ¿cuenta con electrodomesticos y horas de utilizacion diaria?									
radio	<input checked="" type="checkbox"/>	<u>4 horas</u>	otros	<input type="checkbox"/>					
televisor	<input checked="" type="checkbox"/>	<u>3 horas</u>							
4.3 ¿Qué tipo de energia utilizan?									
baterias	<input checked="" type="checkbox"/>	mecheros	<input checked="" type="checkbox"/>	carbon	<input checked="" type="checkbox"/>				
velas	<input checked="" type="checkbox"/>	combustible	<input checked="" type="checkbox"/>	otros	<input type="checkbox"/>				
4.5 ¿que tipo de equipo utiliza para iluminacion y cuantas horas al dia?									
lamparas	<input checked="" type="checkbox"/>	candil	<input type="checkbox"/>	otros	<input type="checkbox"/>	cantidad	<u>3</u>		
petromax	<input checked="" type="checkbox"/>	velas	<input checked="" type="checkbox"/>	horas	<u>4</u>				
4.4 gasto equivalente en velas, mecheros, combustible, carbon, por familia S/. <u>37.5</u>									
<b>5. SALUD</b>									
5.1 ¿existe puesto o centro de salud en su localidad? si <input type="checkbox"/> no <input checked="" type="checkbox"/>									
observaciones: <u>en el plano figura una posta medica para construccion a futuro</u>									
<b>6. EDUCACION</b>									
6.1 ¿existen centros de educacion? si <input type="checkbox"/> no <input checked="" type="checkbox"/>									
observaciones: <u>en el plano figura una escuela para construccion a futuro</u>									

### Anexo 3'

#### Galería fotográfica del caserío Rama Serquén



## Anexo 5

### Especificaciones técnicas del cableado

THHN/THWN-2 1kV Rojo:

Conductor					Espesor medio del aislamiento ≥		Espesor mínimo de la cubierta ≥		Diámetro exterior total		Peso total aproximado	
Tamaño	Sección nominal	Número de hilos	Diámetro del conductor									
AWG o kcmil	mm²		mm	mils	mm	mils	mm	mils	mm	mils	kg/km	lbs/1000ft
14	2,08	1	1,63	64	0,38	15	0,1	4	2,6	102	22	15
12	3,31	1	2,05	81	0,38	15	0,1	4	3,0	118	34	23
10	5,26	1	2,59	102	0,51	20	0,1	4	3,8	150	54	36
14	2,08	19	1,80	71	0,38	15	0,1	4	2,8	110	24	16
12	3,31	19	2,29	90	0,38	15	0,1	4	3,4	134	37	25
10	5,26	19	2,87	113	0,51	20	0,1	4	4,2	165	58	39
8	8,37	19	3,63	143	0,76	30	0,13	5	5,8	228	98	66
6	13,3	19	4,55	179	0,76	30	0,13	5	6,6	260	147	99
4	21,2	19	5,74	226	1,02	40	0,15	6	8,4	331	230	155
3	26,7	19	6,45	254	1,02	40	0,15	6	9,0	354	287	193
2	33,6	19	7,26	286	1,02	40	0,15	6	9,7	382	350	235
1	42,4	19	8,15	321	1,27	50	0,18	7	10,9	429	445	299
1/0	53,5	19	9,14	360	1,27	50	0,18	7	12,3	484	560	376
2/0	67,4	19	10,26	404	1,27	50	0,18	7	13,3	524	694	466
3/0	85	19	11,53	454	1,27	50	0,18	7	14,5	571	868	583
4/0	107	19	12,95	510	1,27	50	0,18	7	15,9	626	1070	719
250	127	37	14,60	575	1,52	60	0,2	8	17,9	705	1267	851
300	152	37	16,00	630	1,52	60	0,2	8	19,6	772	1510	1015
350	177	37	17,30	681	1,52	60	0,2	8	20,9	823	1770	1189
400	203	37	18,49	728	1,52	60	0,2	8	22,2	874	2022	1359
500	253	37	20,65	813	1,52	60	0,2	8	24,2	953	2480	1667
600	304	61	22,68	893	1,78	70	0,23	9	26,8	1055	2999	2015

Embalaje	Calibres
Carrete de plástico (500 pies)	14, 12, 10 AWG
Carrete contrachapado (2500 pies)	
Carrete o bobina (500 pies, 1000 pies, 2500 pies o 5000 pies)	De 8 AWG a 4/0 AWG
Bobina de madera y corte de bobina	De 4 AWG a 600 kcmil (MCM)

## Anexo 4

### Algoritmos de Programación del sistema de seguidor solar de dos ejes

```
#include <Wire.h>
#include <RTCLib.h>
#include <Stepper.h>
#define STEPS 200
Stepper motor1(STEPS, 8, 9, 10, 11) ;
Stepper motor2(STEPS, 4, 5, 6, 7) ;
RTC_DS3231 rtc ;

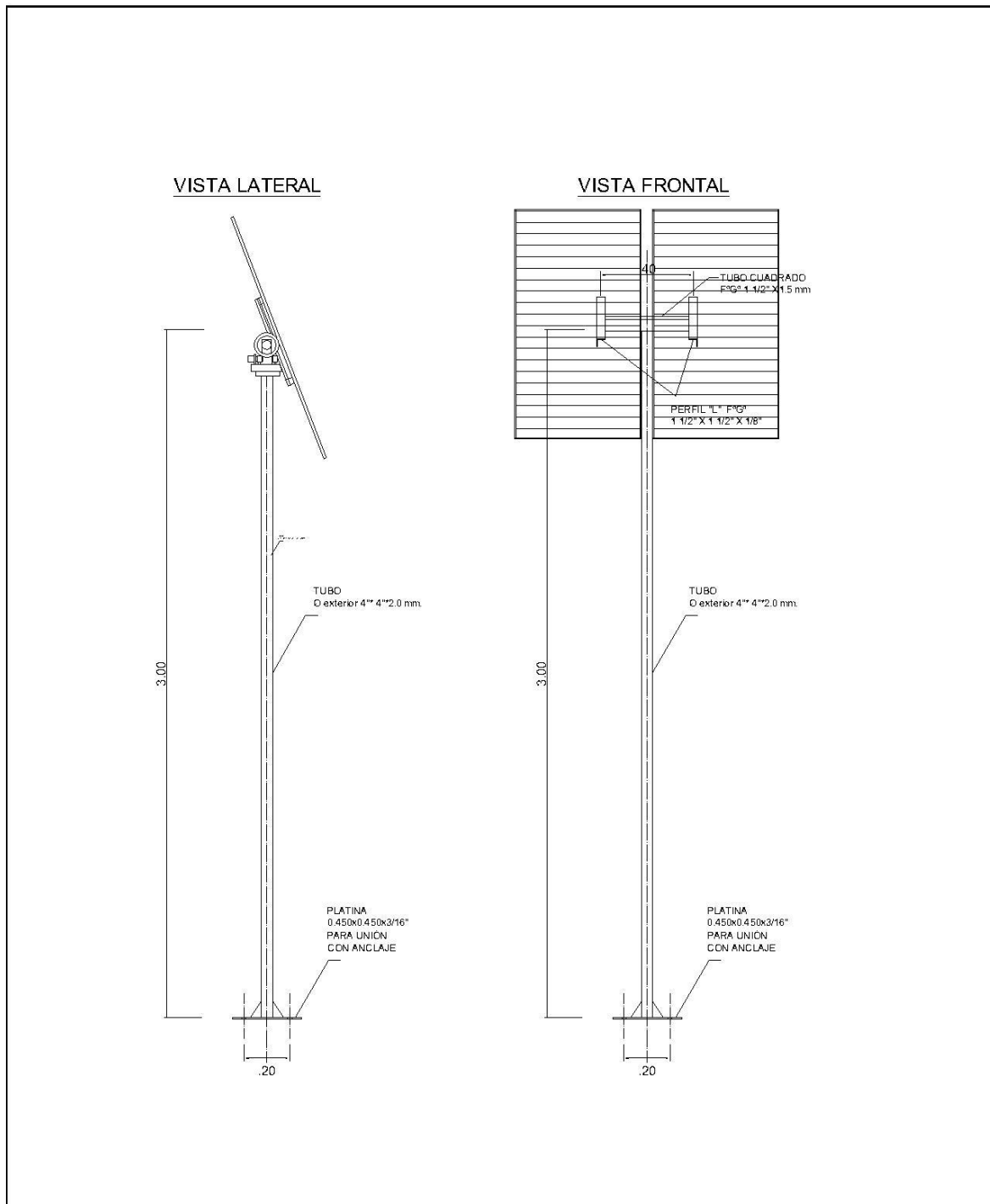
void setup ()
{
    Serial.begin(9600);
    if (! rtc.begin())
    {
        Serial.println("Couldn't find RTC");
        while (1);}
    if (rtc.lostPower())
    {
        rtc.adjust(DateTime(F(__DATE__), F(__TIME__))); }
    motor1.setSpeed(60); // RPM
    motor2.setSpeed(60); // RPM}

void loop ()
{
    DateTime now = rtc.now ();
    // Calculate the sun's position (azimuth and elevation)
    // This part requires an accurate algorithm based on the location and time
    int azimuth = calculateAzimuth(now);
    int elevation = calculateElevation(now);
    // Move motors to the calculated positions
    motor1.step(azimuth);
    motor2.step(elevation);
    delay (60000); // Adjust every minute}

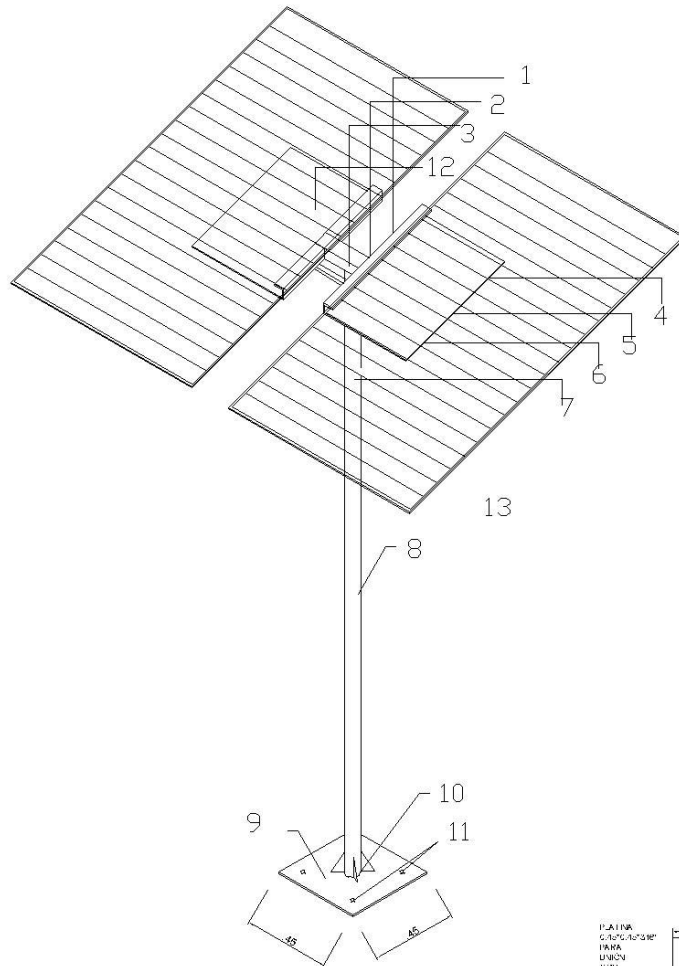
int calculateAzimuth(DateTime now)
{
    // Placeholder calculation
    return (now.hour() * 15); // Simplistic example}

int calculateElevation (DateTime now)
{
    // Placeholder calculation
    return (now.minute()); // Simplistic example }
```

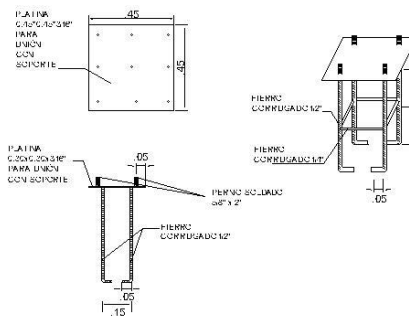
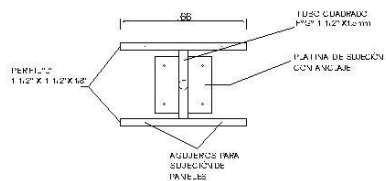
## PLANOS DEL SEGUIDOR SOLAR DE DOS EJES



## VISTA ISOMÉTRICA

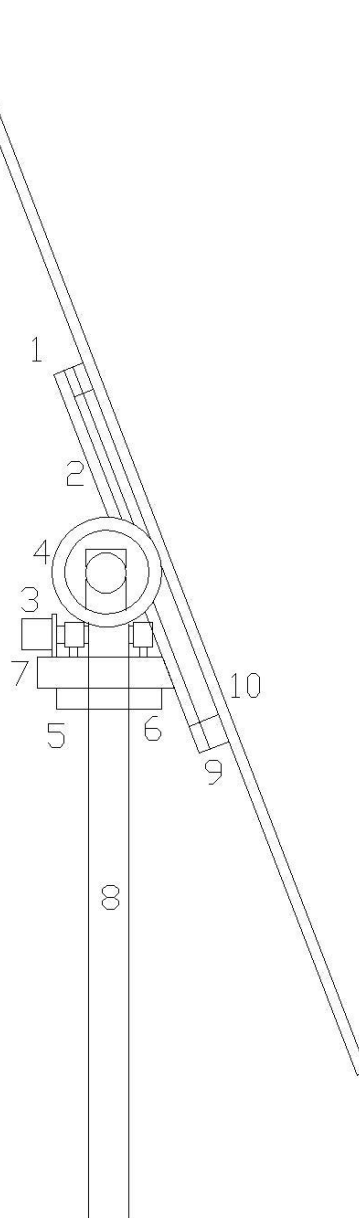


- 1.Regulador
- 2.Inversor
- 3.Batería
- 4.Motor
- 5.Sensor LDR
- 6.Controlador de motor
- 7.Microcontrolador Arduino
- 8.PERFIL C GALVANIZADO  
Ø exterior 4"x4"x2.0 mm.
- 9.PLATINA 0.450x0.450x3/16"  
PARA UNIÓN CON ANCLAJE
10. ALETAS Tipo Triangulo  
de 1.5"x2"x3/16"
11. AGUJERO PARA PERNO Ø5/8"
12. PANEL DE SOPORTE CON  
BASE GIRATORIA
13. CABLEADO ELECTRICO

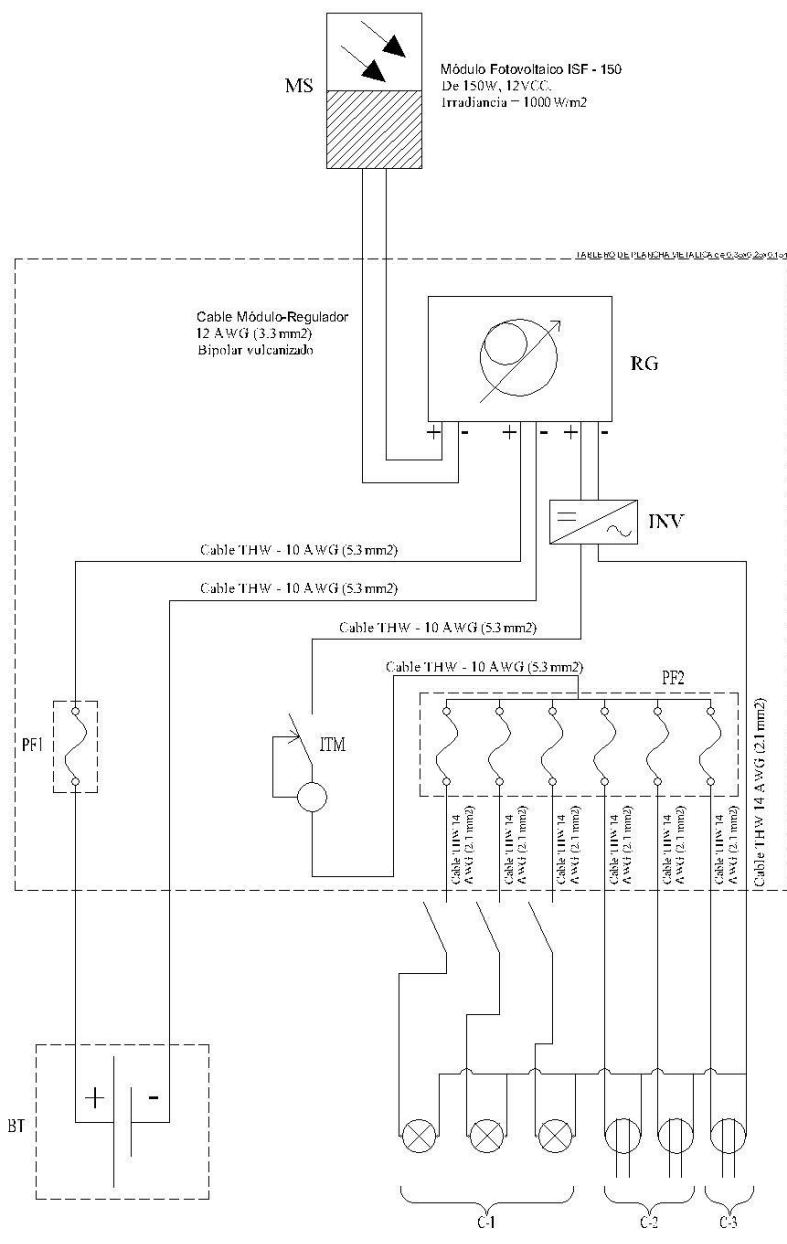




## DETALLE DE PANEL

- 1.Regulador
- 2.Inversor
- 3.Batería
- 4.Motor
- 5.Sensor LDR
- 6.Controlador de motor
- 7.Microcontrolador Arduino
- 8.PERFIL C GALVANIZADO  
Ø exterior 4"\*4"\*2,0 mm.
9. PANEL DE SOPORTE CON  
BASE GIRATORIA
10. PANEL SOLAR 500 WATTS
11. CABLEADO ELECTRICO



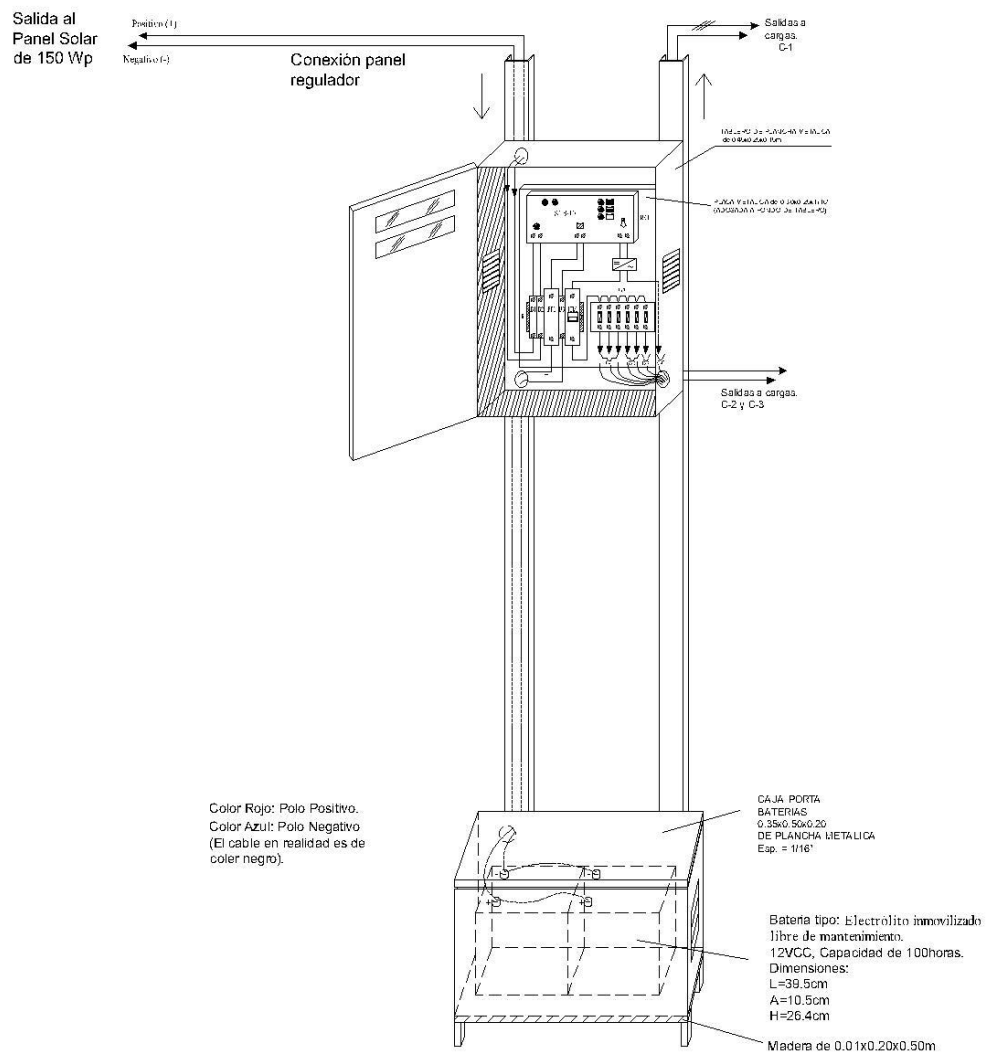
## CONEXIÓN DEL PANEL A CIRCUITOS



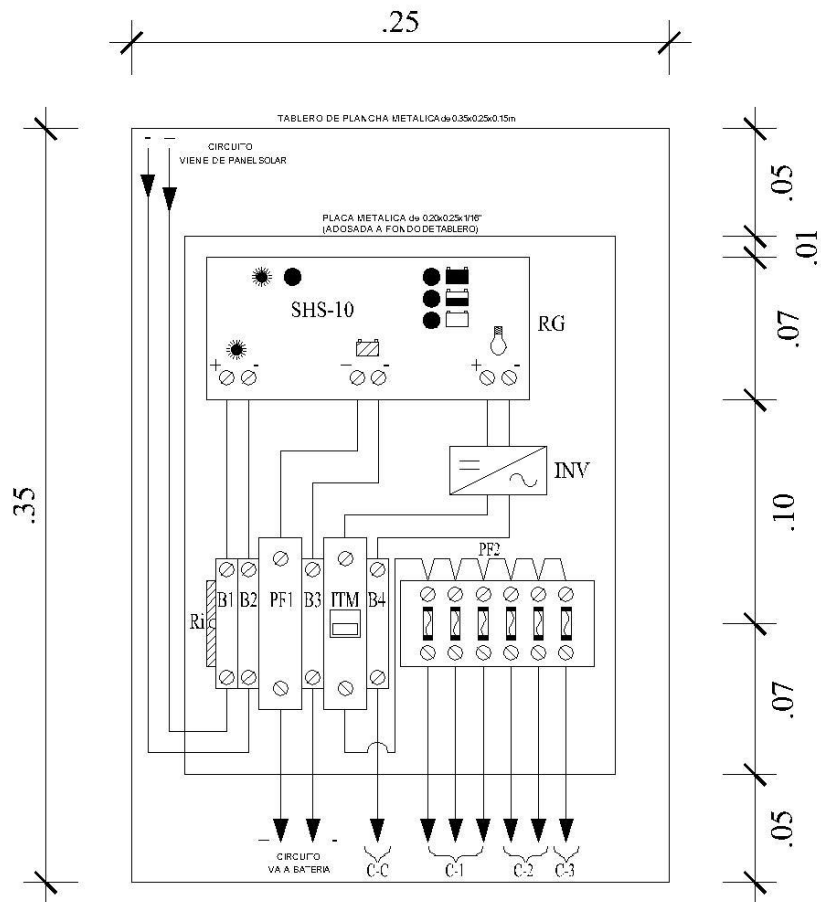
LEYENDA	
MS	Módulo Fotovoltaico 150W.
RG	Regulador tipo SHS-10 (10 Amp.)
INV	Inversor Xantrex Xpower 300W/12V
PF1	Portafusible tipo Americano - 1F 20 A.
PF2	Portafusible estándar - para 6 fusibles de 5 Amp.
ITM	Interruptor termomagnético Unipolar - 20Amp.
C-1	Circuito de Iluminación.
C-2	Circuito de Tornacorrientes.
C-3	Circuito de Tornacorriente.
BT	Batería tipo: Electrolito inmovilizado libre de mantenimiento. 12VCC, Capacidad de 100Ahora.
	Lámpara de 220VAC - 950 Lumen
	Tornacorriente doble.
	Tornacorriente Simple.
	Interruptor Unipolar



## DETALLE DE VIVIENDA: ACOMETIDA ELÉCTRICA SOLAR



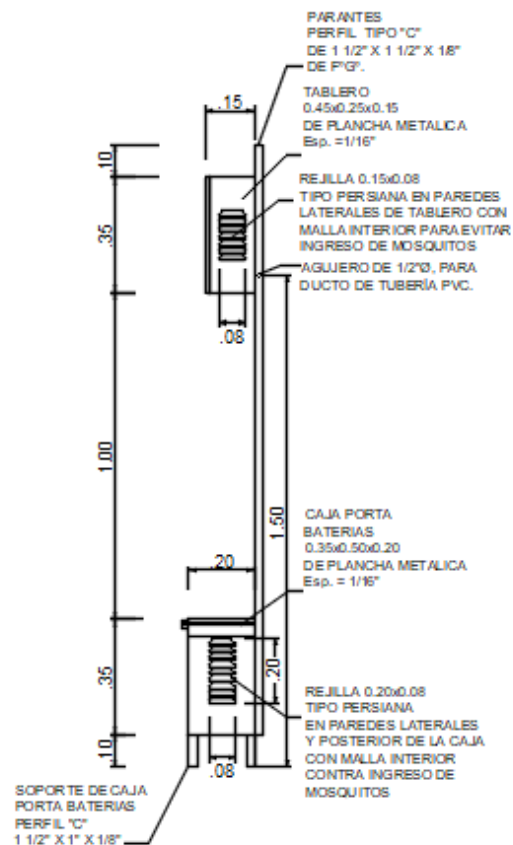
DETALLE DE VIVIENDA: CONEXIÓN A TABLERO ELECTRICO



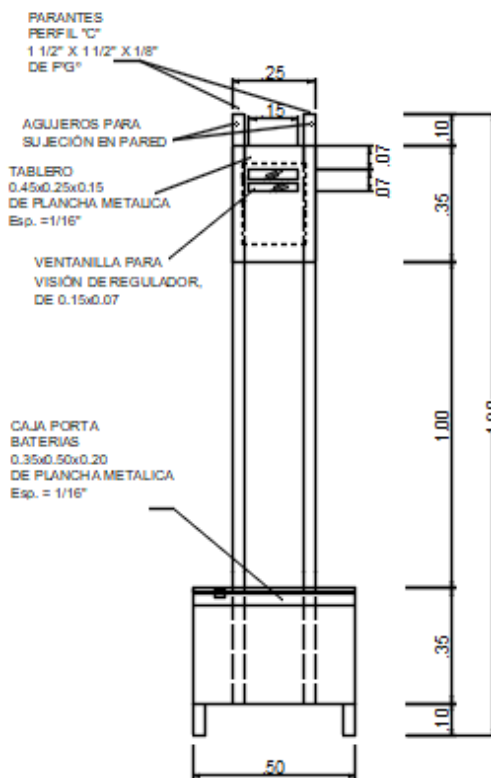
LEYENDA

RG	Regulador tipo SHS-10 (10 Amp.)
INV	Inversor Xantrex Xpower 300W/12V
PF1	Portafusible tipo Americano - 1f = 20 A
PF2	Portafusible estandar - para 6 fusibles de 5 Amp.
B1,B2,B3,B4	Borneras.
ITM	Interruptor termomagnético Unipolar - 20Amp.
C-1	Circuito de Iluminación.
C-2	Circuito de Tomacorrientes 1.
C-3	Circuito de Tomacorriente 2.
C-C	Circuito/Cable Común.
Ri	Riel para sujeción de Bcm Long.

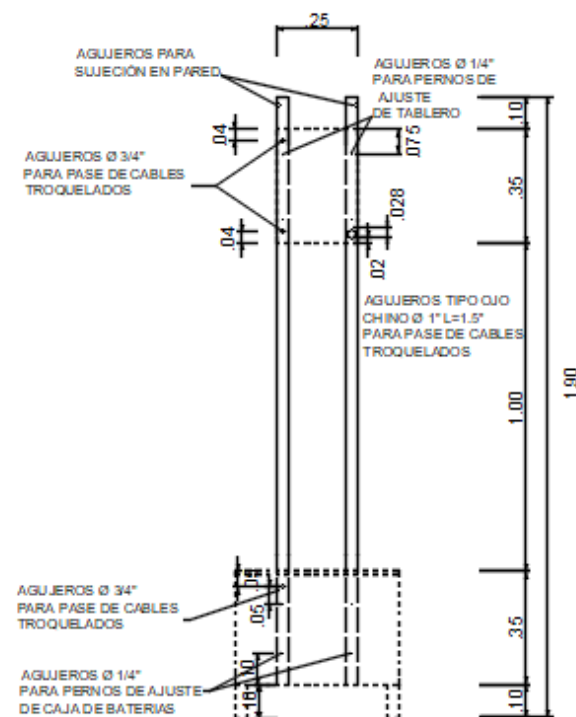
## VISTA LATERAL



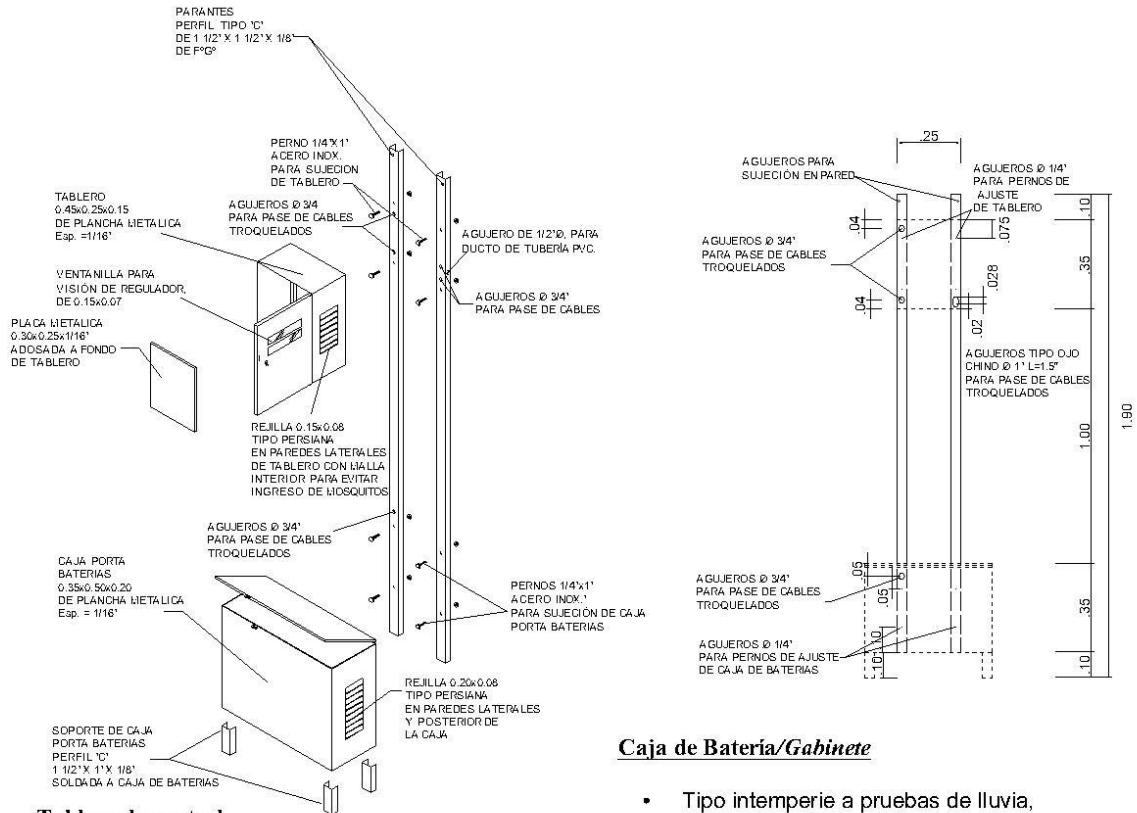
## VISTA FRONTAL



## ESTRUCTURA DE ACOMETIDA



### VISTA ISOMETRICA

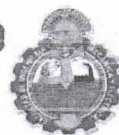


#### Tablero de control

- Tipo intemperie a pruebas de lluvia, puerta frontal abisagrada y chapa a prueba de robos, además se ha considerado un elemento (tipo argolla) para fijación de un precinto de seguridad.
- Material: De Plancha de Fierro laminado en Frio (LAF) espesor 1/16".
- El tablero, lleva en su interior una placa para fijar elementos eléctricos.
- Pintada al horno, con pintura epoxica y anticorrosivas.
- El tablero ha sido pintado con base de pintura zincromato como base con 60 % sólidos; y el acabado es Pintura Electroestática Hibrida Poliésterepoxi 100% sólidos, color gris. RAL 7032.

#### Caja de Bateria/Gabinete

- Tipo intemperie a pruebas de lluvia, puerta superior abisagrada y chapa a prueba de robos, además se ha considerado un elemento (tipo argolla) para fijación de un precinto de seguridad.
- Material: De plancha de Fierro Laminado en Frio (LAF) espesor de 1/16".
- El gabinete lleva una tapa con una inclinación de 5°.
- Los lados laterales del Gabinete, deben ser agujereados en rejilla, Tomando la forma tipo persiana, como indica el plano.
- El Gabinete ha sido pintado con base de pintura zincromato como base con 60 % sólidos; y el acabado es Pintura Electroestática Hibrida Poliésterepoxi 100% sólidos, color gris. RAL 7032.



**ACTA DE SUSTENTACION N°050-2024-FIME**



En la ciudad de Lambayeque, siendo las 12:00 p.m. del día jueves 29 de Agosto 2024. Se reunieron los miembros del jurado, designados mediante Resolución N°192-2024-D-FIME, de fecha 20 de agosto 2024, con la finalidad de Evaluar y Calificar la sustentación de la Tesis ordinaria, conformado por los siguientes catedráticos:

M.Sc. Ing. CARLOS YUPANQUI RODRIGUEZ  
ING. HÉCTOR ANTONIO OLIDEN NUÑEZ  
ING. NÉSTOR DANIEL PUYEN MATEO  
M.Sc. Ing. JONY VILLALOBOS CABRERA

PRESIDENTE  
SECRETARIO  
MIEMBRO  
ASESOR

Se recibió la Tesis ordinaria titulada:

**"TECNOECONOMIA DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO CON SEGUIDORES SOLARES PARA ABASTECER ENERGÍA AL CASERIO RAMA SERQUEN, DISTRITO DE FERREÑAFE"**

Presentada y sustentada por su autor, Bachiller: **VILLALOBOS ZUÑIGA DIEGO ALONSO**

Finalizada la sustentación de la Tesis ordinaria, el sustentante respondió las preguntas y observaciones de los miembros del jurado examinador, quienes procedieron a deliberar y acordaron otorgar el calificativo de **APROBADO**, Nota ( 16 ) en la escala vigesimal, mención Bueno.

Quedando el sustentante apto para obtener el Título profesional de Ingeniero Mecánico Electricista, de acuerdo a la Ley Universitaria 30220 y la normatividad vigente, de la Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica y la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo.

Siendo las 12:50 pm del mismo día se da por concluido el acto académico, firmando la presente acta el jurado respectivo:

M.Sc. Ing. CARLOS YUPANQUI RODRIGUEZ  
PRESIDENTE

ING. HÉCTOR ANTONIO OLIDEN NUÑEZ  
SECRETARIO

ING. NÉSTOR DANIEL PUYEN MATEO  
MIEMBRO

M.Sc. Ing. JONY VILLALOBOS CABRERA  
ASESOR

UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO  
Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica  
D. Ing. AMADO AGUINAGA PAZ  
Decano

ANEXO 01

**CONSTANCIA DE VERIFICACIÓN DE ORIGINALIDAD**

Yo, **Msc. Jony Villalobos Cabrera**, usuario revisor del documento titulado: **"Tecnología de un sistema fotovoltaico con seguidores solares para abastecer energía eléctrica al caserío rama Serquen, Distrito de Ferreñafe"**

Cuyo autor es, **Villalobos Zuñiga Diego Alonso**, identificado con documento de identidad **N° 72934912**, declaro que la evaluación realizada por el Programa informático, ha arrojado un porcentaje de similitud de **17%**, verificable en el Resumen de Reporte automatizado de similitudes que se acompaña.

El suscrito analizó dicho reporte y concluyó que cada una de las coincidencias detectadas dentro del porcentaje de similitud permitido no constituyen plagio y que el documento cumple con la integridad científica y con las normas para el uso de citas y referencias establecidas en los protocolos respectivos.

Se cumple con adjuntar el Recibo Digital a efectos de la trazabilidad respectiva del proceso.

Lambayeque 12 de setiembre del 2024

---

**Msc. Jony Villalobos Cabrera**  
**DNI: 16699530**

**ASESOR**

Se adjunta:

\*Resumen del Reporte automático de similitudes

\*Recibo Digital



# TECNOECONOMIA DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO CON SEGUIDORES SOLARES PARA ABASTECER ENERGÍA ELÉCTRICA AL CASERÍO RAMA SERQUEN, DISTRITO DE FERREÑAFE

## INFORME DE ORIGINALIDAD

17%

INDICE DE SIMILITUD

17%

FUENTES DE INTERNET

3%

PUBLICACIONES

7%

TRABAJOS DEL  
ESTUDIANTE

## FUENTES PRIMARIAS

1	<a href="https://hdl.handle.net">hdl.handle.net</a> Fuente de Internet	4%
2	<a href="https://repositorio.ucv.edu.pe">repositorio.ucv.edu.pe</a> Fuente de Internet	1%
3	<a href="https://repositorio.unprg.edu.pe">repositorio.unprg.edu.pe</a> Fuente de Internet	1%
4	<a href="https://repositorio.uncp.edu.pe">repositorio.uncp.edu.pe</a> Fuente de Internet	1%
5	<a href="https://tesis.usat.edu.pe">tesis.usat.edu.pe</a> Fuente de Internet	1%
6	<a href="https://pt.scribd.com">pt.scribd.com</a> Fuente de Internet	1%
7	Submitted to Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo Trabajo del estudiante	<1%
8	Submitted to Universidad Cesar Vallejo Trabajo del estudiante	<1%

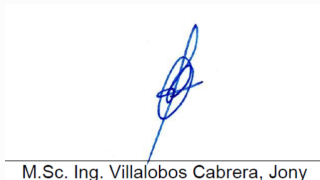


## Recibo digital


Este recibo confirma que su trabajo ha sido recibido por **Turnitin**. A continuación podrá ver la información del recibo con respecto a su entrega.

La primera página de tus entregas se muestra abajo.


Autor de la entrega:	Diego Alonso Villalobos Zúñiga
Título del ejercicio:	Quick Submit
Título de la entrega:	TECNOECONOMIA DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO CON SEG...
Nombre del archivo:	TESIS_FINAL_-_Villalobos_Diego.docx
Tamaño del archivo:	3.96M
Total páginas:	125
Total de palabras:	25,400
Total de caracteres:	140,705
Fecha de entrega:	12-nov.-2024 11:40p. m. (UTC-0500)
Identificador de la entre...	2517940697



M.Sc. Ing. Villalobos Cabrera, Jony



UNIVERSIDAD NACIONAL  
"PEDRO RUIZ GALLO"



Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica

Tesis Para optar el título profesional de:

INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA

TECNOECONOMIA DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO  
CON SEGUIDORES SOLARES PARA ABASTECER  
ENERGÍA ELÉCTRICA AL CASERÍO RAMA SERQUEN,  
DISTRITO DE FERREÑAFE

PRESENTADO POR:

BACH. DIEGO ALONSO VILLALOBOS ZÚÑIGA

ASESOR:

M.SC. JONY VILLALOBOS CABRERA

LAMBAYEQUE 2024



DIEGO A. VILLALOBOS ZÚÑIGA