

Estudio de factibilidad para la implementación de un sistema de paneles fotovoltaicos como energía alternativa para el resguardo indígena WOUNAAN de CHACHAJO zona rural del distrito de BUENAVENTURA, VALLE DEL CAUCA, COLOMBIA

Álvaro Mosquera Ortiz

Richard Alexander Rivas Arboleda

Asesor

Fausto Miguel Castro Caicedo

Universidad Nacional Abierta y a Distancia-UNAD

Escuela de Ciencias Básicas, Tecnología e Ingeniería ECBTI

Ingeniería electrónica

2025

Agradecimiento

A Dios padre todo poderoso por permitirme cumplir una meta más en mi vida profesional.

A mi madre Alba Leonor Arboleda, por su dedicación, sacrificio y amor; por darme siempre su apoyo incondicional y darme fuerzas para seguir luchando y no abandonar los estudios. Por desvelarse conmigo, por consentirme tanto, por ayudarme siempre, por ser mi ángel de la guarda en todo momento.

A mi hija Dana Carolina, el mejor gusto y encanto, de luchar y hacer mí duro camino más fácil, lleno de colores, risas y ganas de continuar hacia delante, gracias por tu colaboración en la realización de mis trabajos de grabaciones de videos y tus consejos para la entrega de los trabajos.

A mi hija Lisset Viviana por estar siempre conmigo en los buenos y en los malos momentos, por dejarse guiar siempre por el buen camino, gracias por llenar de luz mi camino y tener tu confianza de permitirme enseñarte mi ejemplo.

A mi hijo Richard Steven por permitirme enseñarle los grandes valores que tiene la unión de la familia, por enseñarme a ver el mundo de otra manera, por acompañarme en este gran proceso y ser siempre mi felicidad y orgullo.

A mi esposa Ingrid Paola por ser el soporte global de mis cosas y la que me impulsa a nuevos horizontes fructíferos.

A mi hermana Yaneth Rivas por el soporte incondicional, por todo el apoyo brindado en los duros momentos y a sus buenos consejos para protegerme.

A toda mi familia, muchas gracias por el apoyo incondicional que me han brindado en esta etapa de mi carrera profesional

Richard Alexander Rivas Arboleda

En primer lugar, quiero expresar mi más profunda gratitud a Dios, que la gloria sea para él, cuya guía y fortaleza han sido mi apoyo constante a lo largo de este camino. Sin Su gracia y bendición, no hubiera sido posible alcanzar esta meta.

A mi pareja, Soledad Valencia, quien ha sido una fuente inagotable de amor, comprensión y motivación. Tu apoyo incondicional y tus palabras de aliento me dieron el impulso necesario para perseverar y concluir los últimos semestres de mi carrera. Gracias por estar a mi lado en cada paso de este proceso.

A mi madre, Jadelly Ortiz, por tu inquebrantable fe en mí y por ser mi pilar de fuerza dedicación. Tus sacrificios y amor incondicional han sido una inspiración constante, a mis hermanos, Ricardo Mosquera Ortiz y Camilo Mosquera Ortiz, por su apoyo y compañerismo. Gracias por estar siempre dispuestos a ayudarme y por compartir conmigo los momentos difíciles y los logros.

Álvaro Mosquera Ortiz

Resumen

Este proyecto consiste en la elaboración de un estudio de viabilidad para abordar las necesidades de energía eléctrica en la comunidad indígena del resguardo Wounaan de Chachajo, ubicada en Buenaventura río San Juan, Valle del Cauca. La propuesta se centra en un estudio detallado para la implementación de un sistema de paneles fotovoltaicos en la comunidad de Chachajo, para proporcionar Energía eléctrica en forma sostenible y eficiente. Con la elaboración de este estudio, se pretende mejorar la calidad de vida de la comunidad, promover la autosuficiencia energética y contribuir positivamente al medio ambiente. Esta comunidad de Chachajo cuenta con tan solo 3 horas de energía al día, de 6 p.m. a 9 p.m., por lo que estos estudios para una posible implementación son cruciales. La solución propuesta podría tener un impacto social y económico significativo en la comunidad, al abordar sus limitaciones energéticas y mejorar las condiciones de vida en general. Esta es la idea central que impulsa el proyecto. Estos estudios incluyen un análisis de las necesidades energéticas de la comunidad, un estudio técnico para evaluar la viabilidad de los paneles solares y un análisis de los aspectos socioeconómicos relacionados. Se plantea un plan detallado de instalación, incluyendo diseño del sistema, capacitación comunitaria y medidas para mitigar los posibles impactos negativos.

Palabras clave: Energía solar, Paneles solares, Sistema de generación eléctrica, Autonomía energética, Eficiencia energética.

Abstract

This project involves the development of a feasibility study to address the electrical energy needs of the Wounan indigenous community in the Chachajo reservation, located in Buenaventura, San Juan River, Valle del Cauca. The proposal focuses on a detailed study for the implementation of photovoltaic panels in the Chachajo community, providing a sustainable and efficient solution. The aim is to improve the quality of life within the community, promote energy self-sufficiency, and positively contribute to the environment. This community of Chachajo has only 3 hours of electricity per day, from 6 p.m. to 9 p.m., making these feasibility studies for potential implementation crucial. The proposed solution could have a significant social and economic impact on the community by addressing its energy limitations and improving overall living conditions. This is the central idea driving the project. These studies include an analysis of the community's energy needs, a technical study to assess the feasibility of solar panels, and an analysis of related socio-economic aspects. A detailed installation plan is proposed, encompassing system design, community training, and measures to mitigate potential negative impacts.

Keywords: Solar energy, Solar panels, Power generation system, Energy autonomy, Energy efficiency.

Tabla de Contenido

Introducción	11
Objetivo general.....	14
Objetivos específicos	14
Marco Teórico	15
Metodología	18
Dimensionamiento y Diseño del Sistema.....	22
Cálculo de la demanda energética de la comunidad.....	22
Proyecciones demográficas y vivienda a 12 años (2024-2036)	25
Proyección demográfica	25
Proyección de viviendas	27
Datos Proporcionados	29
Capacidad de generación y radiación solar promedio en la ubicación.	32
Consumo energético real, análisis de pérdidas y otros parámetros técnicos.....	40
Diseño de la disposición espacial de los paneles solares en el sitio	44
Diseño Sistema Fotovoltaico Off-Grid en la Vereda Chachajo	50
Sistema Fotovoltaico Off-Grid	50
Banco de Baterías	51
Generador de Respaldo.....	51
Interacción entre las Tres Entradas del inversor.....	51
Transformador Trifásico Elevador	54

Función del Transformador Elevador:	54
Distribución de Energía	55
Transformador Reductor	55
Características de Panel Foto Voltaico Elegido	56
Potencia nominal de un panel solar	57
Cálculo de la potencia pico instalada	60
Características de Batería elegida	65
Configuración de Baterías	72
Cálculos del Sistema inversor	74
Cálculo de módulos en el inversor	74
Comprobación de compatibilidad entre el generador FV y el acumulador.	80
Estructuras	81
Cálculo de Cableado y Protección de Paneles	82
Cálculos en Matlab	91
Conexiones	94
Análisis de costos	97
Costos de mantenimiento a lo largo de la vida útil del sistema.	106
Evaluación de los costos de inversión inicial y los ahorros en facturas de energía.	107
Conclusiones	111
Anexos	115
Referencias Bibliográficas	112

Lista de Tablas

Tabla 1 <i>Potencia en la Actualidad</i>	31
Tabla 2 <i>Potencia Demandada a Futuro</i>	31
Tabla 3 <i>Radiación Solar por Regiones</i>	37
Tabla 4 <i>Características Panel Solar</i>	56
Tabla 5 <i>Características del Inversor</i>	62
Tabla 6 <i>Características de la Batería de Litio</i>	65
Tabla 7 <i>Configuración Paneles Inversor Maestro</i>	78
Tabla 8 <i>Configuración Paneles Inversor 2(esclavo)</i>	79
Tabla 9 <i>Tabla de Parámetros Obtenidos</i>	87
Tabla 10 <i>Presupuesto de Instalación de Paneles Solares</i>	104

Lista de Figuras

Figura 1	<i>Crecimiento de la Población resguardo Indígena de CHACHAJO 2014 a 2018</i>	22
Figura 2	<i>Consumo Eléctrico según las Regiones del PACIFICO COLOMBIANO</i>	28
Figura 3	<i>Mapa de Brillo Solar e Irradiación del Sol.....</i>	39
Figura 4	<i>Ubicación de la Vereda Chachajo.....</i>	44
Figura 5	<i>Ubicación Geográfica: Toma Aérea Donde se Ubicarán los Paneles Solares.....</i>	45
Figura 6	<i>Área de Construcción de Cuarto Eléctrico.</i>	46
Figura 7	<i>Angulo de Ubicación de los Paneles Solares</i>	47
Figura 8	<i>Ubicación de Paneles de Norte a Sur.....</i>	48
Figura 9	<i>Sistema fotovoltaico off-Grid.....</i>	50
Figura 10	<i>Inversor Híbrido WIT50-100k.</i>	62
Figura 11	<i>Batería de Litio-WECO</i>	64
Figura 12	<i>Configuración Baterías</i>	73
Figura 13	<i>Arreglo de Paneles Solares</i>	75
Figura 14	<i>Estructura de Soporte para Paneles Solares.....</i>	81
Figura 15	<i>Valores Normalizados en el Sistema AWG.....</i>	85
Figura 16	<i>Amperaje que Soportan los Cables de Cobre.....</i>	86
Figura 17	<i>Diseño en Matlab 1.....</i>	91
Figura 18	<i>Diseño en Matlab 2.....</i>	93
Figura 19	<i>Cableado del Sistema con Tres Inversores WIT 50-100K-HU.....</i>	94
Figura 20	<i>Conexión de Inversores Maestro-Esclavo.</i>	95
Figura 21	<i>Conexión de paneles y baterías al inversor.....</i>	96
Figura 22	<i>Precios de la Energía en la Bolsa Durante el Año 2024.....</i>	108

Lista de Apéndices

Apendice A <i>Panel Solar</i>	115
Apendice B <i>inversor Hibrido</i>	116
Apendice C <i>Batería</i>	118
Apendice D <i>Código de Matlab</i>	119

Introducción

En las últimas décadas, la creciente preocupación por el cambio climático, la dependencia de los combustibles fósiles y la necesidad de fuentes de energía sostenibles han impulsado el desarrollo y la adopción de tecnologías de energía renovable. Entre ellas, la energía solar fotovoltaica se ha destacado como una de las alternativas más prometedoras y accesibles para la generación de electricidad limpia y sostenible.

La energía fotovoltaica, basada en la conversión directa de la luz solar en electricidad mediante celdas solares, ofrece numerosos beneficios ambientales y económicos. No solo contribuye a la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero, sino que también proporciona una solución viable para aumentar la independencia energética y reducir los costos a largo plazo.

Este proyecto tiene como objetivo explorar y analizar la implementación de un sistema fotovoltaico en la comunidad indígena de Wounaan de Chachajo en la zona rural de Buenaventura río San Juan- Valle del Cauca evaluando tanto su viabilidad técnica como económica. Para ello, se abordarán diferentes aspectos del diseño del sistema, la selección de componentes, y se estimarán los costos y beneficios esperados.

Este estudio no solo pretende demostrar la factibilidad del uso de la energía fotovoltaica en el resguardo Wounaan de Chachajo, sino también contribuir a la promoción de energías limpias y a la transición hacia un modelo energético más sostenible.

Justificación

El análisis técnico y financiero de un sistema de energía solar fotovoltaica para la comunidad indígena del resguardo Chachajo responde a una necesidad crítica de suministro eléctrico sostenible y accesible en la vereda. La implementación de esta tecnología resulta fundamental por las siguientes razones:

1. **Sostenibilidad Ambiental:** La energía solar es una fuente limpia y renovable que no genera emisiones contaminantes ni contribuye al cambio climático. Al adoptar esta tecnología, la comunidad reducirá significativamente su huella de carbono y preservará su entorno natural, promoviendo una cultura de respeto y cuidado ambiental en línea con los valores propios de la comunidad.

2. **Reducción de Costos a Largo Plazo:** Aunque la instalación inicial de paneles solares implica una inversión considerable, los costos de operación y mantenimiento son mucho más bajos en comparación con los de las fuentes de energía convencionales. La comunidad podrá evitar los altos precios de combustibles y los frecuentes mantenimientos, generando ahorros económicos significativos que fortalecerán su independencia energética a largo plazo.

3. **Acceso Confiable a la Electricidad:** La energía solar permitirá a la comunidad contar con un suministro eléctrico constante y fiable, mejorando considerablemente la calidad de vida. Con electricidad disponible las 24 horas, se habilitarán nuevas posibilidades para el desarrollo de actividades educativas, productivas y sociales en cualquier momento del día, beneficiando a todos los miembros de la comunidad.

4. **Fortalecimiento de la Educación y la Atención Médica:** Un suministro eléctrico continuo en las escuelas y centros de salud permitirá mejorar las condiciones para el aprendizaje y la atención médica, creando un ambiente más propicio para el desarrollo de las capacidades

intelectuales y físicas de los habitantes. Este avance no solo contribuirá al bienestar general, sino que también abrirá oportunidades de empleo y mejorará la calidad de vida, impulsando el desarrollo económico y social de la vereda.

Objetivos

Objetivo General

Desarrollar un estudio de factibilidad para la implementación de un sistema de paneles fotovoltaicos para el resguardo indígena Wounaan de Chachajo zona rural del distrito de Buenaventura, Valle del Cauca, Colombia, con un análisis técnico sobre la instalación, diseño del sistema y elaboración del presupuesto necesario para la implementación del proyecto relacionado.

Objetivos Específicos

Analizar la viabilidad técnica de la implementación del sistema de paneles fotovoltaicos en el resguardo indígena Wounaan de Chachajo.

Diseñar un sistema fotovoltaico adaptado a las necesidades específicas del resguardo indígena.

Elaborar el presupuesto necesario para la implementación del proyecto de energía solar en el resguardo indígena.

Marco Teórico

La energía solar es una fuente de energía renovable que proviene del sol y se puede aprovechar a través de diferentes tecnologías. Es una de las fuentes de energía más limpias y abundantes, lo que la convierte en una alternativa viable a las fuentes de energía tradicionales basadas en combustibles fósiles. La conversión de la energía solar en electricidad se realiza principalmente mediante paneles solares fotovoltaicos. A continuación, relacionamos un conjunto de definiciones en relación con los sistemas fotovoltaicos:

Efecto Fotovoltaico

El efecto fotovoltaico es el fenómeno físico que permite la conversión directa de la luz solar en electricidad.

Celdas Fotovoltaicas

Las celdas fotovoltaicas son dispositivos que aprovechan el efecto fotovoltaico para generar electricidad.

Sistemas Fotovoltaicos

es un conjunto de dispositivos como paneles solares, inversor, baterías, cableado y sistemas de protección que unidos generan energía eléctrica convencional.

Inversor

Convierte la corriente continua (CC) generada por los paneles en corriente alterna (CA) utilizada en la red eléctrica.

Baterías

Almacenan la energía generada para su uso posterior, especialmente en sistemas aislados de la red.

Controladores de Carga o Controlador Solar

Regulan el voltaje y la corriente que van a las baterías para evitar sobrecargas.

Estructuras de Soporte

Soportan los paneles solares en su posición óptima para maximizar la captura de energía solar.

Sistemas Conectados a la Red (On-Grid)

Generan electricidad para el consumo inmediato y el excedente se inyecta a la red eléctrica.

Sistemas Autónomos (Off-Grid)

No están conectados a la red y dependen de baterías para almacenar la energía generada.

Sistemas Híbridos

Combinan energía solar con otra fuente de energía (como generadores diésel o energía eólica) y pueden estar conectados o no a la red.

Reducción de Emisiones de CO2

La generación de energía solar no produce emisiones de gases de efecto invernadero durante su operación.

Energía Renovable y Sostenible

La energía solar es inagotable y su uso contribuye a la sostenibilidad ambiental.

Independencia Energética

Los sistemas fotovoltaicos permiten a los usuarios generar su propia electricidad, reduciendo la dependencia de la red eléctrica.

Ahorro Económico a Largo Plazo

Aunque la inversión inicial es alta, los costos operativos son bajos, y con el tiempo, se recupera la inversión gracias al ahorro en la factura eléctrica.

Variabilidad y Dependencia del Clima

La generación de energía solar depende de las condiciones climáticas y la disponibilidad de luz solar, lo que puede afectar su fiabilidad.

Costos Iniciales Elevados

La instalación de sistemas fotovoltaicos requiere una inversión inicial significativa, aunque los costos han disminuido en los últimos años.

Eficiencia energética

A pesar de los avances, la eficiencia de conversión de los paneles solares sigue siendo un área de investigación y desarrollo.

Monocristalinos

Hechos de un solo cristal de silicio, ofrecen alta eficiencia y durabilidad, pero son más costosos.

Policristalinos

Fabricados a partir de varios cristales de silicio, son menos eficientes que los monocristalinos, pero más económicos.

Celdas de Película Delgada

Usan materiales diferentes al silicio, como el telurio de cadmio (CdTe) o el di seleniuro de cobre indio galio (CIGS). Son flexibles y ligeros, aunque menos eficientes que los de silicio cristalino.

Metodología

El desarrollo de este proyecto sigue un enfoque secuencial, estructurado en fases específicas para asegurar su viabilidad técnica, económica y sostenible. A continuación, se describen cada una de las fases:

Preparación y Planificación Inicial

En esta fase se definen los objetivos y el alcance del proyecto, identificando las necesidades energéticas de la comunidad y estableciendo los recursos requeridos para la implementación. Se realiza una revisión de la normativa aplicable a proyectos fotovoltaicos en zonas rurales y se organiza un cronograma preliminar de actividades. Además, se identifica a los actores clave (comunidad, proveedores, técnicos, etc.) para asegurar una colaboración efectiva.

Análisis de Factibilidad

Se evalúa la factibilidad técnica, económica y social del proyecto mediante un análisis detallado de las condiciones climáticas de la zona, en especial de la radiación solar disponible. Esta evaluación incluye:

- Recolección de datos de radiación solar y clima local.
- Análisis de viabilidad técnica para determinar si la radiación solar es suficiente para generar energía de manera sostenible.
- Estimación de la demanda energética de la comunidad y cálculo de la capacidad del sistema necesario para suplir esta demanda.

- Revisión de posibles barreras y limitaciones, como el acceso a infraestructura o los recursos financieros.

Selección del Tipo de Panel Solar

Basado en los resultados de la fase de factibilidad, se selecciona el tipo de panel solar más adecuado para la zona. Se consideran factores como:

- Eficiencia de los paneles en condiciones de baja radiación solar.
- Durabilidad y resistencia a las condiciones ambientales de la zona pacífica.
- Costo de adquisición y mantenimiento. Esta selección incluye una comparación entre tecnologías (por ejemplo, paneles monocristalinos, policristalinos o de capa delgada) para asegurar que el panel elegido se ajuste a las necesidades y al presupuesto del proyecto.

Dimensionamiento del Sistema

En esta fase, se calculan el número de paneles y la capacidad del sistema necesarios para satisfacer la demanda energética de la comunidad. El proceso incluye:

- Cálculo de la producción energética necesaria y determinación de la cantidad de paneles, inversores y componentes adicionales (baterías, reguladores de carga, etc.).
- Determinación de los ángulos de inclinación y orientación de los paneles para optimizar la captación de radiación solar.
- Análisis de los requerimientos de almacenamiento de energía, considerando la necesidad de baterías para garantizar un suministro continuo, especialmente en épocas de baja radiación.

Diseño del Sistema

En esta fase se realiza el diseño técnico completo del sistema fotovoltaico, especificando:

- La disposición física de los paneles en el terreno o techos disponibles.
- La ubicación de los componentes adicionales (inversores, baterías, sistema de soporte).
- El diseño de las conexiones eléctricas y el sistema de protección contra sobrecargas o cortocircuitos.
- El diseño de la infraestructura de soporte y los aspectos logísticos necesarios para el montaje y la instalación.

Análisis de Costos

En esta última fase, se elabora un análisis detallado de los costos asociados al proyecto, que incluye:

- Estimación de los costos de adquisición de los paneles solares, inversores, baterías y otros componentes.
- Cálculo de los costos de instalación, incluyendo mano de obra y transporte de los materiales al sitio.
- Proyección de los costos de mantenimiento y operación a largo plazo.
- Análisis de posibles fuentes de financiamiento y evaluación de incentivos o subsidios disponibles para proyectos de energía renovable en zonas rurales.

Evaluación y Validación del Proyecto

Una vez completadas todas las fases anteriores, se realiza una evaluación final del proyecto,

verificando que los cálculos y diseños cumplan con las necesidades y limitaciones previamente establecidas. Esta fase incluye una validación técnica y económica con posibles revisiones y ajustes antes de la implementación.

Dimensionamiento y Diseño del Sistema

Cálculo de la Demanda Energética de la Comunidad.

La vereda del Chachajo cuenta con un total de 120 familias y 60 viviendas, según la información del anuario de Buenaventura con datos del ORIVAC-Organización Regional Indígena del Valle del Cauca, del año 2018, último año del censo del DANE. Estos datos se presentan en la Figura 1.

Figura 1

Crecimiento de la Población Resguardo Indígena de CHACHAJO 2014 a 2018

COMUNIDAD	PUEBLO	2014					2015					2016					2017					2018				
		POBLACIÓN		VIVIENDA			POBLACIÓN		VIVIENDA			POBLACIÓN		VIVIENDA			POBLACIÓN		VIVIENDA			POBLACIÓN		VIVIENDA		
		Personas	Familias	Dispersa	Caserío	Total	Personas	Familias	Dispersa	Caserío	Total	Personas	Familias	Dispersa	Caserío	Total	Personas	Familias	Dispersa	Caserío	Total	Personas	Familias	Dispersa	Caserío	Total
Resguardo indígena de Chachajo	wounaan	452	93	-	47	47	452	93	-	56	56	510	110	-	59	59	555	120	-	60	60	555	120	-	60	60
Cabildo Indígena Chamapuro	wounaan	62	16	-	11	11	65	14	-	10	10	65	14	-	10	10	66	15	-	11	11	66	15	-	11	11
Comunidad Indígena Unión Agua Clara	wounaan	300	54	-	41	41	331	62	-	52	52	331	62	-	52	52	332	64	-	45	45	332	64	-	45	45
TOTAL		814	163	-	99	99	848	169	-	118	118	906	186	-	121	121	953	199	-	116	116	953	199	-	116	116

Fuente: ORIVAC

Nota. Crecimiento del resguardo indígena de Chachajo entre los años 2014 a 2018. Tomado de. Proyecto anuario estadístico (años 2014 - 2018 Grafica Informativa); 2020.

www.buenaventura.gov.co

Según los requerimientos del estudio, el sistema de electrificación rural debe ser diseñado considerando un horizonte de tiempo de al menos 12 años, que coincide con la vida útil estimada de los paneles solares y demás dispositivos que se utilizarán en el desarrollo del proyecto. Esta consideración implica realizar una proyección a futuro del número de viviendas y familias que se

beneficiarán del sistema a lo largo de este período. Teniendo en cuenta el crecimiento poblacional, las tendencias demográficas y las necesidades energéticas en las áreas rurales, se busca garantizar que el sistema sea escalable y capaz de satisfacer la demanda en constante evolución durante las próximas dos décadas. Esta planificación a largo plazo es fundamental para asegurar la sostenibilidad y eficacia del proyecto, así como para maximizar su impacto positivo en las comunidades beneficiarias.

la tasa de crecimiento de la demanda es uno de los parámetros de diseño cuya determinación requiere el máximo cuidado a fin de evitar la subestimación y la sobrestimación de las demandas futuras (Ramírez Castaño, S. 2009)

La tasa de crecimiento de la demanda en redes de distribución es diferente para cada clase de consumo, es evidente que el aumento de la demanda máxima individual, que es el criterio de diseño, es mayor para una zona de consumo bajo que para una zona de consumo medio o alto.

Para el diseño de circuitos primarios es necesario hacer proyecciones de la demanda en la zona de influencia de la línea primaria o de la subestación. En estos casos y teniendo en cuenta la escasez de datos estadísticos confiables y numerosos que permiten aplicar criterios de extrapolación, es necesario determinar una tasa de crecimiento geométrico en base a los siguientes factores:

- El crecimiento demográfico.
- El aumento en el consumo por mejoramiento del nivel de vida.
- Los desarrollos industriales, comerciales, turísticos, agropecuarios y otros previsible.

- El posible represamiento de la demanda debido al mal servicio prestado anteriormente.

La tasa de crecimiento de la demanda se puede obtener mediante análisis estadístico de datos históricos materializados en las curvas de carga anual cuando se grafican como mínimo para los últimos 4 años (Ramírez Castaño, S. 2009).

La tasa de crecimiento de la demanda está dada por:

$$\text{Tasa de crecimiento Geométrico} \quad r = \sqrt[n]{\frac{D_n}{D_0}} - 1 = \left(\frac{p_f}{p_i}\right)^{\frac{1}{n}} - 1 \quad (\text{Ecuación 1})$$

Donde

$D_0 = \text{demanda actual}$

$D_n = \text{demanda para el período de proyección (cargas de diseño)}$.

$n = \text{período de proyección}$

Donde

$n = 15$ años para redes de distribución

$n = 8$ años para transformadores de distribución

(Ramírez Castaño, S. 2009).

En nuestro estudio se hará una proyección a 12 años.

Proyecciones Demográficas y Vivienda a 12 años (2024-2036)

Para calcular el número actual de viviendas y familias primero necesitamos determinar la tasa de crecimiento anual promedio durante el período dado. Luego podemos aplicar esta tasa al último año conocido (2018).

Estimaremos, utilizando el Método de Crecimiento Geométrico, la población para el año 2.036.

Proyección Demográfica

La tasa de crecimiento anual se puede calcular usando la fórmula:

Tasa de crecimiento Geométrico
$$r = \sqrt[n]{\frac{D_n}{D_0}} - 1 = \left(\frac{p_f}{p_i}\right)^{\frac{1}{n}} - 1$$
 (Ecuación 1)

Donde

* p_f : es la población final (555 personas en el 2018)

* p_i : es la población inicial (452 personas en el 2014)

n : es el numero de años(4 años)

El 2018 es el último dato que se tiene por parte del Dane.

Sustituyendo los valores conocidos en la ecuación 1:

(Ecuación 1)

$$\text{Tasa de crecimiento} = \left(\frac{p_f}{p_i}\right)^{\frac{1}{n}} - 1$$

$$a \text{ de crecimiento} = \left(\frac{555}{452}\right)^{\frac{1}{4}} - 1$$

$$Tasa\ de\ crecimiento = (1,22699115)^{0.25} - 1$$

$$Tasa\ de\ crecimiento \cong 0,053$$

Esto significa que la población aumenta aproximadamente un 5.3% en ese periodo de tiempo.

para proyectar la población al año 2036, se utiliza el modelo de crecimiento exponencial, que es una forma común de modelar el crecimiento de poblaciones y otras cantidades que aumentan proporcionalmente a su tamaño actual. La fórmula general del crecimiento exponencial es:

$$Tasa\ de\ crecimiento\ Exponencial \quad P(t) = P_0 * (1 + r)^t \quad (\text{Ecuación 2})$$

donde:

$P(t)$ es la cantidad proyectada en el tiempo t ,

P_0 es la cantidad inicial,

r es la tasa de crecimiento,

t es el tiempo transcurrido.

Y suponiendo que se mantendrá esta tasa de crecimiento, la población para el año 2036 será de:

Teniendo en cuenta que los datos son hasta el 2018 y se va a proyectar a 12 años desde el presente año 2024 ($2024+12=2036$), entonces se calcula con la tasa de crecimiento desde el año 2018 hasta el año 2036:

$$año = 2036 - 2018 = 18 \text{ años}$$

$$p_{2036} = p_{2018} * (1 + tasa\ de\ crecimiento)^{18}$$

$$p_{2036} = 555 * (1 + 0.053)^{18}$$

$$p_{2036} \cong 1406$$

Por lo tanto, según esta proyección, habría aproximadamente 1406 habitantes para el 2036.

Proyección de Viviendas

Utilizando la **ecuación 1**, de la tasa de crecimiento

(Ecuación 1)

$$Tasa\ de\ crecimiento = \left(\frac{V_f}{V_i}\right)^{\frac{1}{n}} - 1$$

Donde:

* p_f : es la cantidad final de viviendas (60 viviendas en el 2018)

* p_i : es la cantidad inicial de viviendas (47 viviendas en el 2014)

n : es el numero de años (4 años del 2014 al 2018)

Sustituyendo los valores conocidos en la ecuación 1:

(Ecuación 1)

$$Tasa\ de\ crecimiento = \left(\frac{V_f}{V_i}\right)^{\frac{1}{n}} - 1$$

$$Tasa\ de\ crecimiento = \left(\frac{60}{47}\right)^{\frac{1}{4}} - 1$$

$$Tasa\ de\ crecimiento = (1,2766)^{0,25} - 1$$

$$Tasa\ de\ crecimiento \cong 0,063$$

Esto significa que las viviendas aumentan aproximadamente un 6,3% en ese periodo de tiempo, Y suponiendo que se mantendrá esta tasa de crecimiento exponencial, utilizando la ecuación 2, las viviendas para el año 2.036 será de:

(Ecuación 2)

$$P(t) = P_0 * (1 + r)^t$$

$$p_{2036} = 60 * (1 + 0,063)^{18}$$

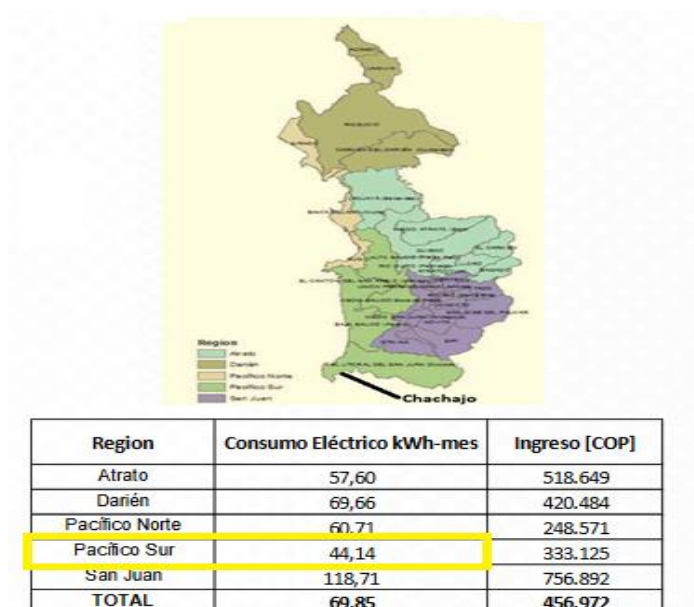
$$p_{2036} \cong 180$$

Después de realizar los cálculos, obtenemos que el número de viviendas proyectadas para el año 2036 sería aproximadamente 180 viviendas, cada vivienda lo identificamos como un usuario del servicio.

Con estos datos y con la información que se encuentra en la unidad de planeación minero energética-UPME, estudios del 2016, El consumo promedio por zona y vivienda, se muestra a continuación.

Figura 2

Consumo Eléctrico según las Regiones del PACIFICO COLOMBIANO



Nota. Consumo promedio por zona y vivienda. Tomado de Demanda y Eficiencia [Grafica Informativa, 2022, www.upme.gov.co

el consumo eléctrico promedio mensual de una vivienda en el pacífico sur es de 44,14 kWh/mes, Para calcular la potencia de electricidad en la vereda El Chachajo, hacemos lo siguiente:

$$\text{Potencia} \quad P = \frac{\text{consumo kWh/tiempo}}{\text{tiempo}} \quad (\text{Ecuación 3})$$

$$P = \frac{44,14 \text{ kWh/mes}}{30 \text{ dias(mes)}}$$

$$P = 1,4713 \text{ kWh/dia}$$

$$P = \frac{1,4713 \text{ kWh/dia}}{24 \text{ h/dia}}$$

$$P = 0,0613 \text{ kW}$$

Para proyectar la demanda futura de potencia utilizando un crecimiento de viviendas del 6,3% anual a lo largo de 12 años (2024-2036), vamos a aplicar la fórmula del valor futuro con crecimiento compuesto.

Datos Proporcionados

Potencia inicial (P_0): 0,0613 kW

Tasa de crecimiento anual compuesto (r): 6,3% o 0,063 (Tasa de crecimiento de usuarios)

Número de períodos (n): 12 años

Se utiliza **la ecuación 2**, crecimiento exponencial

$$\text{Tasa de crecimiento Exponencial} \quad P(t) = P_0 * (1 + r)^t \quad \text{(Ecuación 2)}$$

$$P_f = 0,0613 \text{ kW} * (1 + 0,063)^{12}$$

$$P_f = 0,0613 \text{ kW} * (1,06)^{12}$$

$$P_f \cong 0,1233 \text{ kW}$$

La demanda futura de potencia en 12 años, dado un crecimiento anual compuesto del 6,3%, será aproximadamente **0,1233 kW**.

Si en el futuro la potencia consumida será de **0.123 kW**, podemos calcular el consumo eléctrico diario y mensual con los mismos pasos inversos que realizamos anteriormente.

$$\text{Consumo Diario(kWh)} \quad CD = \text{Potencia(kW)} * \text{Horas por dias} \quad \text{(Ecuación 4)}$$

Dado que la potencia futura es **0.123 kW** y considerando 24 horas al día:

$$\text{Consumo diario} = 0.123 \text{ kW} * 24 \text{ horas dia} = 2.952 \text{ kWh/dia}$$

Para obtener el **consumo mensual**, multiplicamos el consumo diario por el número de días en un mes, 30 Días.

$$\text{Consumo Mensual} \quad CM = CD * 30 \text{ dias (Mes)} \quad \text{(Ecuación 5)}$$

$$\text{Consumo Mes} = \frac{2.952 \text{ kWh}}{\text{dia}} * 30 \text{ dias} = 88.56 \text{ kWh/mes}$$

Entonces, con una potencia futura de **0.123 kW**, el consumo eléctrico diario será de **2.952 kWh/día** y el consumo mensual de **88.56 kWh/mes**.

A continuación, hacemos una comparación de la tabla 1, potencia en la actualidad con la tabla 2 potencia demandada a futuro, 12 años para el año 2036.

Tabla 1 *Potencia en la Actualidad*

Consumo energía kWh/mes	Consumo energía kWh/día	Demanda de potencia actual por usuario	Número de Usuarios en la actualidad	Total, potencia demandada en el día
44,14kWh/mes	1,47 kWh/día	0,0613 kW	60	3,768 kW

Nota. En la tabla 1, determinamos consumo mes, consumo día la potencia actual y el número de usuarios en el presente y la potencia total demandada en la actualidad

Tabla 2 *Potencia Demandada a Futuro*

Consumo energía kWh/mes por usuario en 12 años	Consumo energía kWh/día por usuario en 12 años	Demanda de potencia a futuro por usuario en 12 años	Número de Usuarios en 12 años	Total, potencia demandada al futuro en el día
88.56kWh/mes	2.952kWh/día	0,1233 kW	180	22,194 kW

En la tabla 2, determinamos la potencia demandada en una fecha futura, se multiplica la potencia proyectada para ese momento por el número estimado de usuarios en el futuro a 12 años.

La potencia demandada a futuro es: **22,194 kW**

Debido a la falta de energía eléctrica, la vereda experimenta un estancamiento en el consumo y un crecimiento demográfico lento. Además, la ausencia de electricidad impide el desarrollo comercial, industrial y turístico, entre otros sectores. La cantidad real de casas en 2036 podría ser mayor o menor dependiendo de diversos factores, Sin embargo, al disponer de energía, la vereda puede transformarse significativamente, mejorando la calidad de vida de sus habitantes y fomentando un dinamismo económico y social. (Ramírez Castaño, S. 2009).

Capacidad de Generación y Radiación Solar Promedio en la Ubicación.

Radiación Solar

la zona Pacífica de Colombia, según los datos proporcionados por el UPME y el IDEAM, se caracteriza por tener una de las radiaciones solares más bajas del país, con un promedio anual de **1,278 kWh/m²**. Esta cifra es significativamente menor en comparación con otras regiones, como La Guajira, que presenta más del doble de irradiación solar. La causa principal de esta baja radiación solar en la región Pacífica radica en la **alta nubosidad** que cubre el área de manera constante, limitando la cantidad de luz solar directa que llega a la superficie.

Implicaciones de la Radiación Baja en la Zona Pacífica

La zona pacífica de Colombia se caracteriza por un clima tropical húmedo, con altas precipitaciones y frecuentes nublados. Estas condiciones climáticas influyen directamente en la radiación solar disponible, limitando su intensidad y, por ende, afectando el rendimiento de sistemas solares fotovoltaicos. La baja radiación solar en esta región tiene diversas implicaciones como son:

Desafíos en la Implementación de Proyectos Solares

La radiación solar directa, que es la más eficiente para la generación de energía fotovoltaica, se ve reducida por la presencia frecuente de nubes. Esto genera una mayor dependencia de la **radiación difusa**, que, aunque contribuye, no es tan eficiente como la directa. Como resultado, los sistemas solares en esta región tendrían un menor rendimiento en comparación con zonas más despejadas.

Adaptación Tecnológica

Para maximizar el aprovechamiento de la radiación solar en la zona Pacífica, sería necesario utilizar **tecnologías adaptadas** a estas condiciones de baja irradiación. Por ejemplo, los **paneles bifaciales** o **seguidores solares** pueden captar tanto la radiación directa como la difusa, lo que mejoraría la captación de energía en áreas con alta nubosidad. Sin embargo, estos sistemas pueden implicar mayores costos iniciales de inversión.

Brillo Solar Limitado

El brillo solar en esta región es de **2 horas diarias en promedio**, uno de los más bajos del país. Esto significa que, en términos de horas efectivas de sol directo, la capacidad de generación de los sistemas solares sería limitada. En consecuencia, sería crucial realizar estudios más detallados para determinar si el potencial energético es suficiente para justificar proyectos de energía solar a gran escala, o si sería más viable complementar la generación con otras fuentes de energía renovable.

Viabilidad de Proyectos Solares

A pesar de estos desafíos, es importante notar que la radiación global, que incluye tanto la radiación directa como la difusa, sigue siendo un factor relevante para el diseño de proyectos solares. Si bien la **baja radiación solar** y el **poco brillo solar** dificultan la implementación de proyectos solares eficientes, es posible desarrollar soluciones que se adapten a estas condiciones.

Componentes de la Radiación Solar

Radiación Directa

en la zona Pacífica, la constante nubosidad limita la radiación directa, dispersando la luz solar y reduciendo su eficiencia para sistemas solares convencionales. Esto implica que los proyectos solares en la región no serían óptimos si dependen exclusivamente de esta captación, por lo que deben emplear tecnologías que aprovechen la radiación difusa para compensar la falta de luz directa.

Radiación Difusa

es la que ha sido dispersada por partículas en la atmósfera, como las nubes, el polvo o la humedad, antes de llegar a la Tierra. En la zona Pacífica, debido a la constante **nubosidad**, este tipo de radiación es predominante.

Ventajas

Aunque la radiación difusa es menos eficiente para los paneles solares, sigue siendo una fuente aprovechable de energía. Los paneles instalados en esta región pueden captar parte de esta radiación, lo que hace viable la generación de energía solar a pesar de las condiciones nubladas.

Tecnologías Adecuadas

Los **paneles bifaciales** o los sistemas que no dependen exclusivamente de la radiación directa pueden capturar mejor esta radiación dispersa, maximizando su potencial.

Radiación Global

es la suma de la radiación directa y difusa que llega a una superficie horizontal. En la zona Pacífica, la radiación global es baja en comparación con otras regiones del país, como La Guajira. Sin embargo, es la medida más relevante a la hora de diseñar sistemas fotovoltaicos, ya que incluye tanto la radiación directa (aunque escasa) como la difusa.

Condiciones en la Zona Pacífica

A pesar de la baja radiación global, (Tabla 3: promedio anual de **1,278 kWh/m²**), los sistemas solares pueden seguir siendo viables si se optimizan para capturar la radiación difusa.

Disponibilidad de Energía Solar

La región Pacífica de Colombia enfrenta limitaciones significativas en cuanto a su **potencial solar** debido a la baja radiación anual y el reducido brillo solar. No obstante, estos desafíos también subrayan la importancia de adaptar las **tecnologías de captación solar** y de llevar a cabo una planificación exhaustiva para maximizar el rendimiento de cualquier proyecto

energético en esta región. Proyectos solares en esta área requerirán mayor **inversión en tecnologías especializadas**, además de una evaluación detallada para garantizar que sean viables en el largo plazo.

El conocimiento de la disponibilidad de la energía solar es crucial para su aprovechamiento mediante sistemas fotovoltaicos o térmicos, destilación solar, climatización y producción de biomasa. El Atlas de Radiación Solar proporciona datos sobre la energía solar en el país, esenciales para dimensionar sistemas en zonas remotas que necesitan energía solar para iluminación, comunicaciones, bombeo de agua, señalización y calentamiento de agua o aire en secadores de productos agrícolas. Además, estos mapas son importantes para diseñar edificaciones confortables y energéticamente eficientes.

La Unidad de Planeación Minero Energética (UPME) y el IDEAM como entidades nacionales encargadas del planeamiento energético y de la mediación de variables ambientales, realizan respectivamente, con mucho esfuerzo de sus funcionarios y directores, un primer trabajo para implementar en el IDEAM las bases de datos y metodologías para la evaluación periódica del recurso solar y la difusión de mapas con su distribución espacial en el territorio nacional.

Esta información es crucial para entender la viabilidad y el potencial de implementar proyectos de energía solar en diferentes áreas geográficas. Los datos reflejan la cantidad de irradiación solar que cada región recibe en promedio a lo largo del año, lo cual varía significativamente debido a factores como la latitud, la altitud y las condiciones climáticas locales. Analizar esta disponibilidad permite identificar las zonas más aptas para la instalación de paneles solares y optimizar la inversión en infraestructura energética sostenible. En la tabla 3

resalta las disparidades regionales en términos de recursos solares, sino que también subraya la importancia de adaptar las estrategias energéticas a las características específicas de cada región.

Tabla 3 Radiación solar por Regiones

<i>Región</i>	<i>kWh /m² /año</i>
<i>Guajira</i>	2.190
<i>Costa Atlántica</i>	1.825
<i>Orinoquia</i>	1.643
<i>Amazonia</i>	1.551
<i>Andina</i>	1.643
<i>Costa Pacífica</i>	1.278

Nota. La tabla 3 muestra la disponibilidad promedio multianual de energía solar distribuida por diversas regiones basados en los datos UPME y el IDEAM Fuente: UPME.

Según la tabla 3 la región del Pacífico tiene una radiación solar promedio anual de 1.278 kWh/m², lo cual se considera relativamente bajo. Esta baja radiación solar se debe principalmente a la alta nubosidad característica de la región, que limita la cantidad de energía solar disponible. La nubosidad persistente reduce la eficiencia de los sistemas solares fotovoltaicos, lo que representa un desafío para la implementación de proyectos de energía solar en esta área. Sin embargo, este dato también subraya la importancia de adaptar las tecnologías y estrategias de captación solar a las condiciones específicas de cada región para maximizar el aprovechamiento de los recursos disponibles.

El brillo solar es medido en horas por día, se refiere a la duración de la luz solar directa visible. Este valor se mide generalmente en horas por día y se utiliza para describir la cantidad de tiempo durante el cual el sol brilla directamente sobre una superficie sin estar bloqueado por nubes. Es una medida de la disponibilidad de luz solar directa.

Según el UPME En Colombia, el brillo solar se representa mediante convenciones de colores que varían desde el blanco hasta el rojo, indicando una mayor intensidad de radiación solar. Esta representación se tomamos el mapa promedio anual del brillo solar en Colombia.

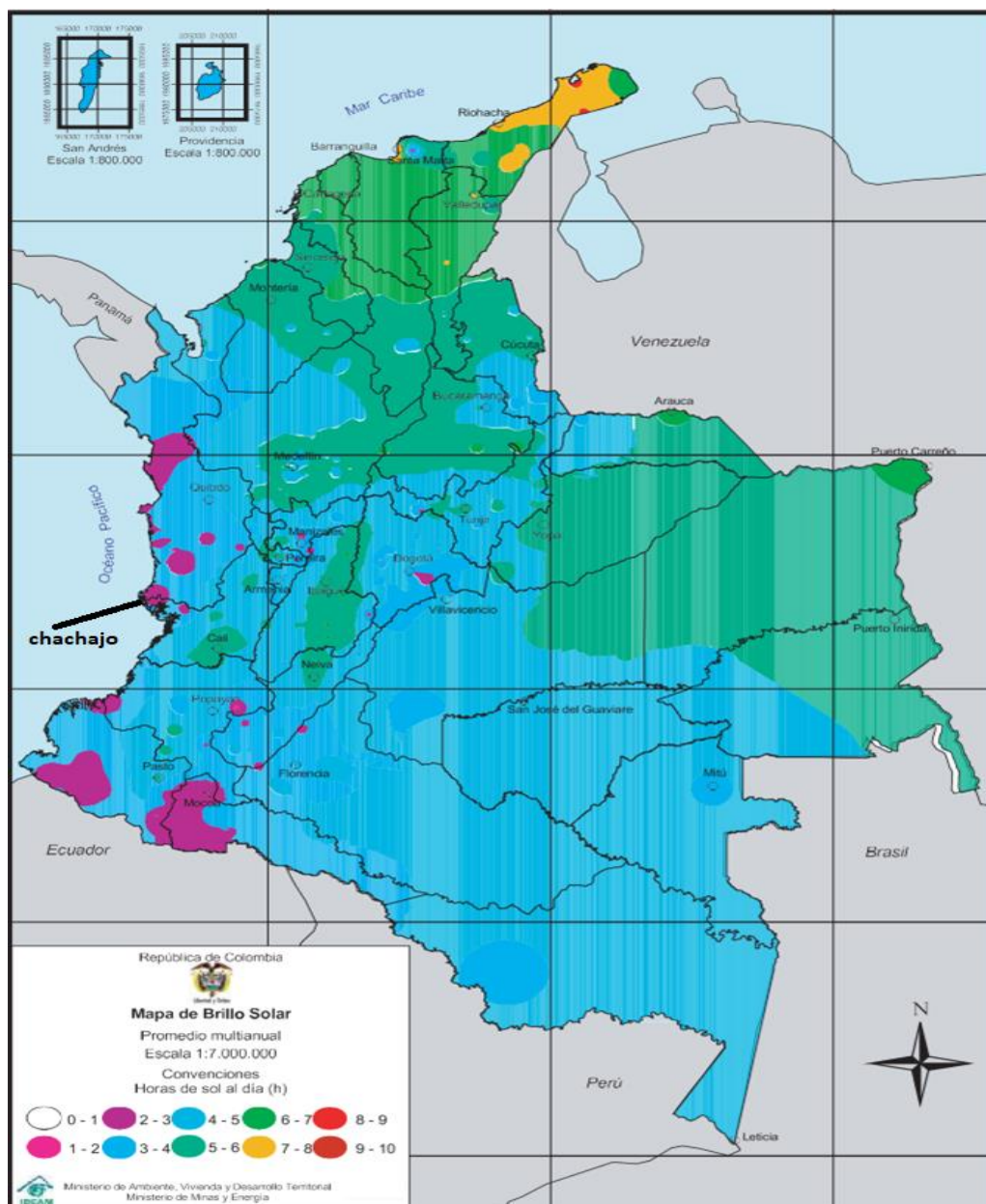
El valor proporcionado de este mapa corresponde al número de horas que, en promedio, los avances en la representación del brillo solar permiten una mejor comprensión y aprovechamiento de la energía solar en Colombia, beneficiando a diversos sectores como la agricultura, la meteorología y la planificación de sistemas de energía renovable. La mayor precisión en los datos facilita la toma de decisiones informadas y el diseño de sistemas solares más eficientes y adaptados a las condiciones específicas de cada región del país. Puede observar el sol en el cielo durante un día de cada mes o del año.

En la ilustración 3 se presenta el mapa del brillo solar en Colombia, el promedio multianual de horas de sol al día está entre 2 a 3 horas diarias, en nuestro caso vamos a tomar 2 diarias para nuestro diseño.

Mapa de Brillo Solar e Irradiación del Sol

Figura 3

Mapa de Brillo Solar e Irradiación del Sol



Nota. Mapa de brillo solar promedio multianual Tomado de Atlas de Radiación Solar de COLOMBIA[Grafica Informatica], 2006, www.upme.gov.co

Consumo Energético Real, Análisis de Pérdidas y otros Parámetros Técnicos.

Para calcular el consumo energético real E (Wh/d) que se debe cubrir en la vereda El Chachajo, partimos del consumo energético teórico E_T (Wh/d). Este representa la demanda ideal, sin pérdidas, que el sistema cubriría bajo condiciones óptimas. Sin embargo, dado que en la instalación fotovoltaica existen factores de pérdidas (como el sombreado, eficiencia del inversor, pérdidas en el cableado y otros factores ambientales), es necesario ajustar el consumo teórico.

Para obtener el consumo energético real E , se incrementa el consumo teórico aplicando un factor R , que representa el rendimiento global de la instalación. Este ajuste permite una proyección precisa de la energía que el sistema realmente debe generar para satisfacer la demanda de las viviendas en la comunidad, considerando las condiciones locales.

Para calcular el **Consumo Energético Real** en la vereda El Chachajo, utilizamos la fórmula

$E = \frac{E_t}{R}$, donde E_t es el **Consumo Energético Teórico** en Wh/día y R representa el rendimiento global del sistema fotovoltaico, un factor que considera las pérdidas inherentes en la instalación.

Dado el contexto específico de El Chachajo, donde las condiciones climáticas y de instalación pueden impactar la eficiencia de los paneles, este cálculo nos permite determinar la demanda energética efectiva que el sistema debe cubrir.

Consumo Energético Real

$$E = \frac{E_t}{R}$$

(Ecuación 6)

Para el cálculo de Rendimiento(R) consideraremos:

$$\text{Rendimiento} \quad R = (1 - K_b - K_c - K_v) * \left(1 - \frac{K_a * N}{P_d}\right) \quad (\text{Ecuación 7})$$

siendo:

Kb: coeficiente de pérdidas por rendimiento del acumulador:

0.05 en sistemas que no demanden descargas intensas.

0.1 en sistemas con descargas profundas.

Kc: coeficiente de pérdidas en el convertidor:

0.05 para convertidores sinodales puros, trabajando en óptimas condiciones.

0.1 en otras condiciones de trabajo que no estén cerca del óptimo.

Kv: coeficiente de perdidas varias, que agrupa otras perdidas como el rendimiento de la red, efecto Joule, influenciadas por condiciones climáticas, orientación, mantenimiento y otros factores operativos.

0.05-0.15 valores de referencia.

Ka: coeficiente de auto descarga diaria:

0.002 para baterías de baja auto descarga, Ni-Cd.

0.005 para baterías estacionarias de Pb-acido (que son las habituales)

0.012 para baterías de alta auto descarga Litio

N: es el número de días de autonomía de la instalación, es decir, los días que la instalación deba operar bajo una irradiación mínima (como los días nublados), en los que va a consumir más energía de la que el sistema fotovoltaico va a ser capaz de generar.

En nuestro caso, tomaremos 5 días a de autonomía.

Pd: es la profundidad de descarga de las baterías, la cual no excederá del 80% (referida a la capacidad nominal del acumulador), ya que la eficacia de este decrece en gran medida con los ciclos carga-descarga muy profundos.

Tomando las consideraciones de las variables:

$$K_b = 0,1; K_c = 0,05; K_v = 0,1; K_a = 0,005; N = 5; P_d = 0,8$$

Tenemos:

$$R = (1 - K_b - K_c - K_v) * \left(1 - \frac{K_a * N}{P_d}\right) \quad \text{(Ecuación 7)}$$

$$R = (1 - 0,1 - 0,05 - 0,1) * \left(1 - \frac{0,005 * 5}{0,8}\right)$$

$$R \cong 0,727$$

calculamos el consumo real respecto al rendimiento R.

El consumo eléctrico promedio diario de una vivienda en el pacífico sur para el año 2036 será de 2,952 kWh/día, según **la tabla n°2**

el consumo real respecto al rendimiento R:

Consumo Energético Real

$$E = \frac{E_t}{R}$$

(Ecuación 6)

$$E = \frac{\text{Consumo diario}}{R}$$

$$\text{Consumo Real} = \frac{2,952 \text{ kWh/día}}{0,727}$$

$$\text{Consumo Real} \cong 4 \text{ kWh/día}$$

Esta es la energía diaria demandada por vivienda en la zona de pacifico sur, en la proyección para el 2036 tenemos 180 viviendas, entonces:

$$\frac{4 \text{ kWh}}{\text{día}} * 180 \text{ viviendas}$$

$$720 \text{ kWh/día}$$

sobre la energía real aplicaremos un sobredimensionamiento del 10 % para asegurar que en todo momento la instalación sea autosuficiente.

Por lo tanto, el sistema fotovoltaico deberá generar,

$$E_T = 720 \text{ kWh} * 1,1$$

$$E_T = 792 \text{ kWh/día}$$

En conclusión, hemos calculado el consumo energético real en la proyección al año 2036 para la vereda El Chachajo, considerando el rendimiento promedio $R=0,727$ en la ecuación: ecuación 6, El análisis muestra que cada vivienda demandará aproximadamente 4 kWh/día, lo que implica un consumo total de 720 kWh/día para las 180 viviendas proyectadas. Para asegurar la autosuficiencia del sistema fotovoltaico, aplicamos un sobredimensionamiento del 10%,

llevando la generación estimada a 792 kWh/día. Este valor garantiza un suministro constante de energía, considerando las necesidades y las condiciones específicas de la región.

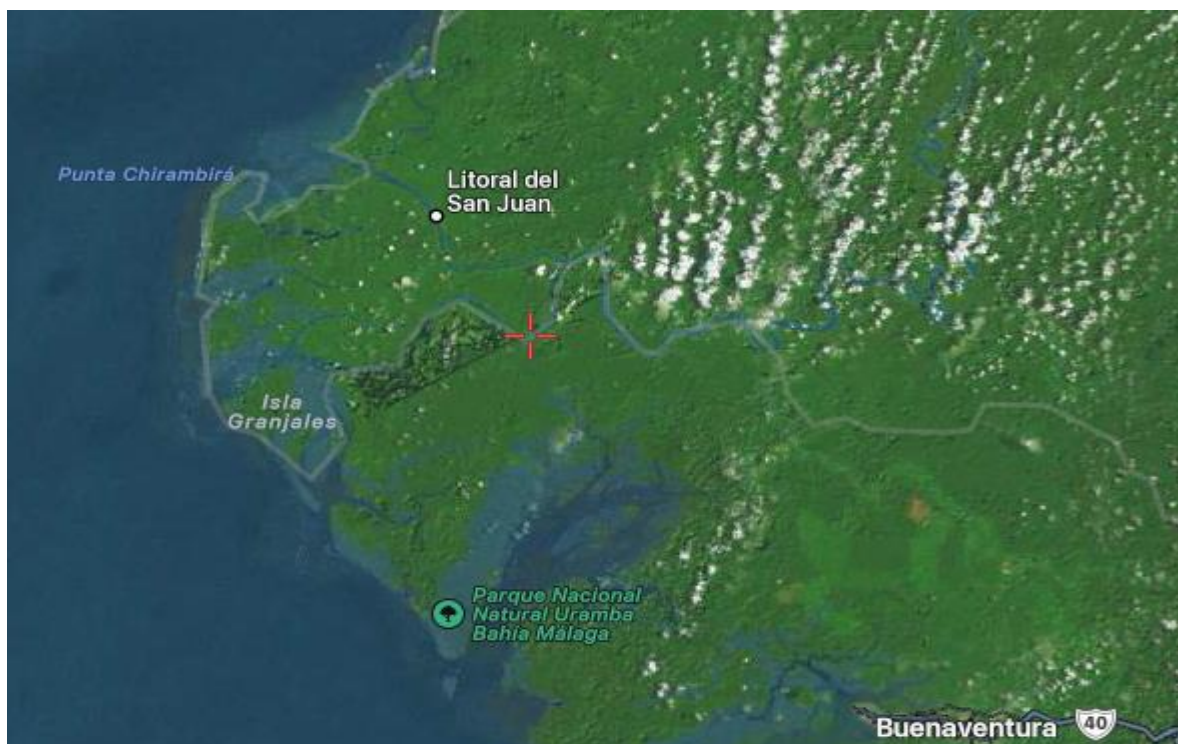
Diseño de la Disposición Espacial de los Paneles Solares en el Sitio

Ubicación Espacial

La vereda de Chachajo se encuentra ubicada en la región del Litoral del San Juan, 4.1936299, -77.34314,1 en la costa pacífica colombiana, marcando los límites entre los departamentos del Valle del Cauca y Chocó. Este lugar es caracterizado por su riqueza natural y biodiversidad, estando inmerso en una zona de selva húmeda tropical. La ubicación de Chachajo, tal como se muestra en el mapa presentado.

Figura 4

Ubicación de la Vereda Chachajo



Nota. Ubicación geo referenciada de la vereda Chachajo. Tomado de *Vista satelital de la vereda El CHACHAJO, COLOMBIA* [Imagen satelital], Google,2024. www.earth.google.com

La comunidad cuenta con un terreno aproximado de 60 metros de ancho por 100 metros de largo, 6 mil metros cuadrados para disposición de la granja solar. Alejado a 260 metros de la orilla del río en una parte alta para evitar las inundaciones ocasionadas por la creciente del río, en el lugar está despejado evitando sombras a los paneles.

Figura 5

Ubicación Geográfica



Nota. ubicación geográfica del área donde se ubicarán los paneles solares. Tomado de *Vista satelital de la vereda El CHACHAJO, COLOMBIA* [Imagen satelital], Google,2024. www.earth.google.com

La vereda El Chachajo cuenta con una caseta que alberga el generador diésel de la comunidad. Es necesario construir un cuarto eléctrico donde se ubicarán las baterías, inversores

y todo el equipo relacionado con la conexión y distribución eléctrica. Inicialmente, se proyecta que este cuarto tenga un área de 400 metros cuadrados (20 metros por 20 metros)

Figura 6

Área de Construcción



Nota. área elegida para el cuarto eléctrico.

La Energía Solar en COLOMBIA: Orientación y Angulo de los Paneles

Colombia, bañada por el sol gracias a su ubicación en el hemisferio norte, ofrece un gran potencial para la energía solar. Para aprovechar al máximo este recurso, la orientación de los paneles solares es crucial. En general, se recomienda orientarlos hacia el sur, apuntando hacia la Línea del Ecuador. Esta posición permite que los paneles reciban la mayor cantidad de radiación solar durante el día, maximizando la generación de energía.

Sin embargo, la orientación ideal puede variar ligeramente dependiendo de la ubicación específica dentro del país y las condiciones geográficas del lugar de instalación. Además de la orientación, otro factor fundamental es el ángulo de inclinación de los paneles. Un ángulo

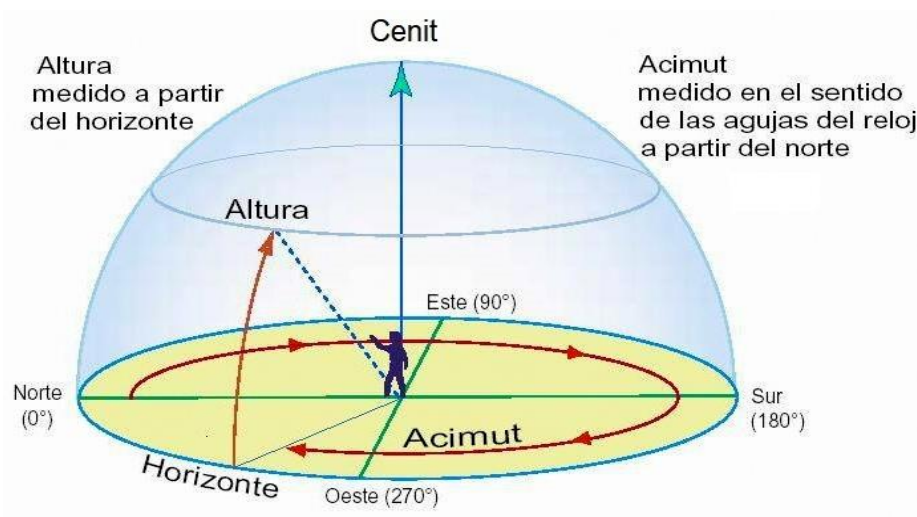
óptimo, que suele rondar entre 10 y 30 grados, permite que los paneles capturen la luz solar de manera directa y eficiente durante todo el año.

es preferible que los paneles solares se coloquen con una inclinación cercana a la latitud local. Empleando una inclinación de 0° a 15° desde la horizontal, de manera que ésta les permita a los paneles solares capturar la mayor cantidad de luz durante el año.

Colombia está ubicada entre 0 y 10 grados latitud norte. En el hemisferio norte se coloca orientado hacia el sur, en el hemisferio sur se coloca orientado hacia el norte. los paneles fotovoltaicos se van a instalar en lugares altos, ya que requieren zonas sin sombras y deben estar orientados al sol del mediodía.

Figura 7

Angulo de Ubicación de los Paneles Solares



Nota. Ángulos Orientación de los Paneles Solares. Tomado de Soler, José Ricardo Lewy, ¿Que Significan los Termino Azimut y Altura? [Grafica Informativa], 2020. www.astro.org.sv

Considerando la ubicación en el hemisferio norte de la vereda Chachajo, los paneles se coloca orientado hacia el sur, y la importancia de instalarlos en zonas altas y sin sombras para un rendimiento óptimo.

Figura 8

Ubicación de Paneles de Norte a Sur



Nota. ubicación del panel en el hemisferio norte orientado hacia el sur. Tomado de ubicación del panel según hemisferio[Grafica Informativa], 2024, Sunfields Europe. www.sfe-solar.com

Análisis de Capacidad de Generación de los Paneles Solares

Para la elección de los paneles se tienen en cuenta los parámetros STC, que son las siglas en inglés de «Standard Test Condición», y se refieren a las condiciones bajo las cuales se deben ensayar los módulos para establecer sus parámetros básicos. Estas condiciones fijan los siguientes tres parámetros:

Irradiancia

Bajo condiciones STC, la irradiancia se establece en 1000 W/m^2 , que es la potencia de radiación solar instantánea por metro cuadrado. En contraste, la irradiancia promedio anual en la zona Pacífica es de $1,278 \text{ kWh/m}^2/\text{año}$, lo cual refleja la cantidad de energía solar total recibida en un año por metro cuadrado. Aunque estas cifras no son directamente comparables, sí indican que la cantidad de radiación solar en la región Pacífica es menor que la utilizada en las pruebas estándar de los paneles. Esto significa que, en la práctica, el rendimiento de los paneles solares en la zona será inferior al que se obtiene bajo condiciones STC, debido a la menor energía solar disponible en esa región.

Temperatura

La temperatura de la célula fotovoltaica, y no la temperatura del ambiente, se fija en $25 \text{ }^\circ\text{C}$ ($77 \text{ }^\circ\text{F}$) bajo las condiciones estándar de prueba (STC). Sin embargo, dado que la temperatura promedio en la región Pacífica es de 28 grados, la eficiencia de los paneles solares será ligeramente inferior a la esperada en las STC. Aunque la diferencia no es muy significativa, es importante destacar que a temperaturas superiores las células fotovoltaicas tienden a perder eficiencia, lo que podría afectar el rendimiento del sistema en esa zona.

Masa de aire

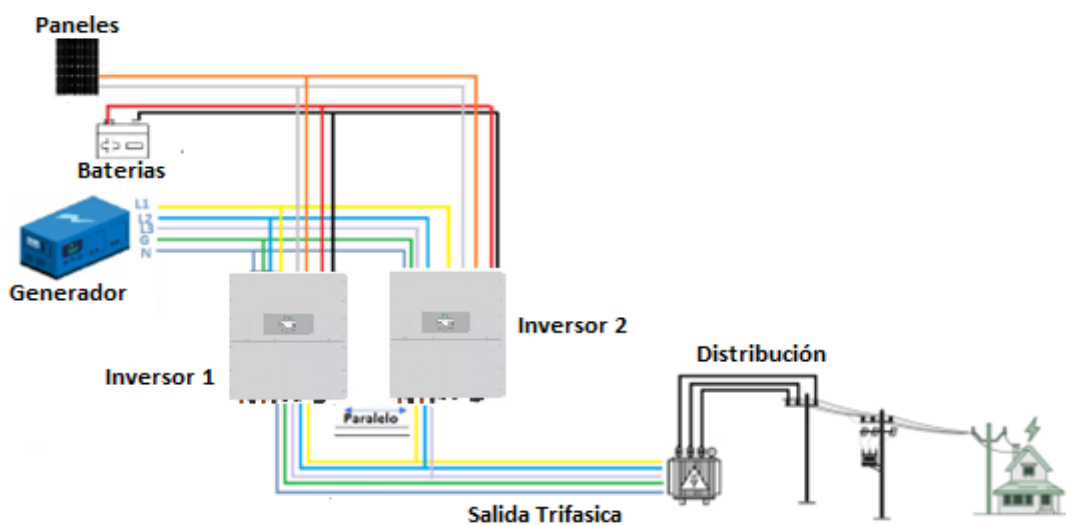
El parámetro de masa de aire en las condiciones estándar de prueba (STC) se establece en 1.5 , lo que indica la cantidad de atmósfera que la radiación solar debe atravesar para llegar a la superficie terrestre. Este valor puede variar según la ubicación, el día y la hora. En la zona Pacífica, debido a su cercanía al nivel del mar y a sus condiciones climáticas, caracterizadas por

una alta nubosidad, la masa de aire tiende a fluctuar, lo que afecta la cantidad de radiación solar directa que los paneles solares pueden recibir y, en consecuencia, su eficiencia. Estos parámetros son cruciales para asegurar que los módulos funcionen de manera óptima bajo condiciones estándar y permiten comparar diferentes paneles de manera consistente

Diseño del sistema fotovoltaico

Figura 9

Sistema Fotovoltaico Off-Grid



Nota. sistema fotovoltaico aislado (off-grid) que se propone para proporcionar energía a la vereda Chachajo.

Sistema Fotovoltaico Off-Grid

El sistema cuenta con tres componentes principales: los paneles solares, el banco de baterías y el inversor, cada uno desempeñando un papel crucial en su funcionamiento. A continuación, se detalla cada uno de los componentes:

Paneles Solares

Los paneles solares convierten la luz solar en electricidad de corriente continua (DC), que luego es dirigida al inversor para transformarla en corriente alterna (AC) trifásica. Durante el día, cuando hay suficiente luz solar, el sistema prioriza el uso de esta energía para alimentar las cargas eléctricas y cargar el banco de baterías.

Banco de Baterías

El banco de baterías almacena el exceso de energía generada por los paneles solares durante el día para su uso en períodos de baja generación, como la noche o días nublados. Cuando la energía solar es insuficiente, el inversor toma energía de las baterías, las cuales están conectadas en serie para alcanzar el voltaje requerido (160V-500V) y mantener una capacidad de 1100 Ah. Esta configuración garantiza un suministro continuo de energía, proporcionando hasta 5 días de autonomía.

Generador de Respaldo

El generador actúa como respaldo cuando la generación solar es insuficiente y el banco de baterías está agotado. Se activa automáticamente en períodos prolongados de nubosidad, suministrando energía al inversor, que la convierte en AC para su uso inmediato, garantizando un suministro fiable incluso en las peores condiciones climáticas.

Interacción entre las Tres Entradas del inversor

El inversor está diseñado para gestionar eficientemente la energía proveniente de estas tres fuentes, priorizando su uso en función de la disponibilidad y la demanda:

Primera prioridad: Paneles Solares

Siempre que haya suficiente luz solar, el inversor utiliza la energía generada por los paneles solares para alimentar las cargas y cargar las baterías.

Segunda Prioridad: Banco de Baterías

En ausencia de suficiente generación solar, el inversor recurre a la energía almacenada en el banco de baterías para mantener el suministro de energía.

Tercera prioridad: Generador de Respaldo

Si las baterías se agotan y la generación solar sigue siendo insuficiente, el generador se activa para proporcionar la energía necesaria.

Beneficios de las tres entradas (Paneles, Baterías y Generador)

Al Implementar un sistema de tres entradas en la vereda El Chachajo representa una solución eficaz y adaptable a las necesidades de la comunidad. Este sistema permite afrontar la variabilidad en la generación y demanda de energía, lo cual es fundamental en una zona de condiciones climáticas cambiantes. Además, proporciona múltiples fuentes de energía que aseguran un suministro continuo y fiable, incluso cuando una de las fuentes está inactiva. Al priorizar el uso de energía solar, se disminuye la dependencia de generadores a diésel, lo que reduce costos y minimiza el impacto ambiental en la comunidad.

A continuación, se presentan los tres aspectos más relevantes de este sistema, que aseguran su efectividad y sostenibilidad en la vereda El Chachajo:

- **Flexibilidad:** El sistema se adapta a diferentes condiciones de generación y demanda de energía.
- **Redundancia:** Proporciona múltiples fuentes de energía, garantizando un suministro continuo y confiable.
- **Optimización de Recursos:** Maximiza el uso de energía solar y minimiza la dependencia de fuentes no renovables (generador).

Salida Trifásica del Inversor

la salida trifásica implica que el inversor genera corriente alterna (AC) en tres fases distintas. Estas fases son L1, L2 y L3, cada una desfasada 120 grados respecto a las otras. Este tipo de salida es común en sistemas de generación y distribución de energía debido a sus ventajas en términos de eficiencia y estabilidad.

Funcionamiento de la Salida Trifásica del Inversor

Estos son los puntos clave del funcionamiento.

- Conversión de Energía DC a AC
- El inversor toma la energía en corriente continua (DC) proveniente de los paneles solares, el banco de baterías y/o el generador de respaldo.
- Convierte esta energía DC en corriente alterna (AC) trifásica.
- Desfasamiento de Fases
- La salida AC trifásica del inversor consta de tres líneas de fase (L1, L2, L3) y una línea neutra.

- Cada fase está desfasada 120 grados eléctricamente de las otras dos. Este desfasamiento permite una distribución equilibrada de la carga eléctrica y reduce las pérdidas de energía

Beneficios de la Energía Trifásica

La transmisión de energía trifásica es más eficiente que la monofásica, ya que distribuye la potencia de manera uniforme y reduce las pérdidas en las líneas. Además, proporciona mayor estabilidad eléctrica, asegurando un suministro constante y fiable.

Capacidad de Carga

Los sistemas trifásicos pueden manejar cargas mayores sin sobrecargarse, lo cual es importante para satisfacer las necesidades energéticas de múltiples hogares.

Transformador Trifásico Elevador

La salida trifásica del inversor se dirige a un transformador trifásico elevador.

Función del Transformador Elevador:

Aumento de Voltaje: El transformador eleva el voltaje de la salida AC trifásica del inversor. Este aumento de voltaje es esencial para la transmisión eficiente de energía a largas distancias.

Reducción de Pérdidas: Al elevar el voltaje, se reduce la corriente en las líneas de transmisión, lo que disminuye las pérdidas de energía por efecto Joule (calentamiento de los conductores).

Distribución de Energía

Después de la elevación del voltaje, la energía se transmite hasta un punto cercano a los usuarios finales.

Transformador Reductor: Cerca de los hogares, un transformador reductor disminuye el voltaje elevado a un nivel seguro y utilizable (por ejemplo, 120V AC para los hogares).

Beneficios de la salida trifásica del inversor

La salida trifásica de un inversor ofrece grandes beneficios para sistemas fotovoltaicos, especialmente en zonas rurales como la vereda El Chachajo, donde puede ser esencial mantener un suministro eléctrico estable y eficiente. Este tipo de salida permite una distribución equilibrada de la carga, lo que mejora la eficiencia y la durabilidad de los equipos eléctricos conectados. Además, una salida trifásica facilita el uso de dispositivos y maquinaria que requieren mayor potencia, beneficiando actividades productivas y mejorando la calidad del suministro en toda la comunidad.

Optimización de la Transmisión

Permite la transmisión de energía a mayores distancias con menores pérdidas y Facilita la integración con redes de distribución existentes, que suelen operar en sistemas trifásicos.

Mayor fiabilidad del Sistema

Permite la mejora la estabilidad del suministro eléctrico y reduce el riesgo de interrupciones del servicio debido a la capacidad de manejar cargas desequilibradas y fluctuaciones en la demanda.

Flexibilidad y escalabilidad

En la salida trifásica permite agregar más generadores o inversores en paralelo sin afectar la estabilidad del sistema y Facilita la expansión del sistema para futuras necesidades energéticas de la comunidad.

Características de Panel Foto Voltaico Elegido

las especificaciones técnicas de los paneles solares, proporcionando información clave sobre su rendimiento y características para la evaluación y selección adecuada del sistema fotovoltaico.

Tabla 4 *Características Panel Solar*

Especificaciones	
Modulo	JKM585N-72HL4
Potencia Max. (Pmax)	585Wp
Voltaje Max. (Vmp)	43.53 V
Corriente Max. (Imp)	13.44 A
Voltaje Circuito abierto (Voc)	52.47 V
Corriente Corto Circuito (Isc)	14.07 A
Dimensiones	230.8 cm x 112 cm x 124.9 cm.

Nota. La tabla 4 presenta las Características del Panel elegido.

Potencia Nominal de un Panel Solar

La potencia nominal de un panel solar es la cantidad de energía que el panel puede generar bajo condiciones de prueba estándar, conocidas como STC (Standard Test Conditions, por sus siglas en inglés). Esta potencia se mide en vatios pico (Wp) y se calcula bajo tres condiciones específicas:

Irradiancia Solar de 1000 W/m²

Esto representa la cantidad de energía solar que incide sobre cada metro cuadrado del panel, un nivel de irradiancia típico en días soleados al mediodía en climas ideales.

Temperatura de Célula de 25°C

Aunque las temperaturas reales de operación suelen ser más altas, este valor estandariza la prueba a una temperatura común para hacer comparaciones entre paneles.

Masa de Aire de 1.5

Esto simula la cantidad de atmósfera que atraviesa la luz solar antes de llegar al panel, similar a condiciones de luz a nivel del mar y cuando el sol está en un ángulo de unos 48.2 grados respecto a la vertical.

La potencia nominal permite comparar el rendimiento de diferentes paneles en las mismas condiciones y ayuda a dimensionar sistemas solares, determinando cuántos paneles se necesitan para cumplir con una demanda de energía específica en condiciones ideales.

Para este cálculo deberemos tener en cuenta el rendimiento de los módulos FV, que, por suciedad de la cara activa, pérdidas por reflexión en incidencias muy oblicuas y por tolerancias, difícilmente valorables, Ese valor representa el **rendimiento o eficiencia del generador** (ng), expresado en un rango de 0.8 a 0.9.

$$\text{Potencia nominal} \quad Pn = \frac{E_T}{HSP * ng} \quad \text{(Ecuación 8)}$$

Donde

$$E_T = \text{Consumo Real (Ecuación 4)}$$

$$ng = \text{rendimiento del generador FV}$$

El rendimiento del generador fotovoltaico generalmente en condiciones normales de funcionamiento es del 0,9

$$Pn = \frac{792 \text{ kWh/dia}}{2h/dia * 0,9} \quad \text{(Ecuación 8)}$$

$$Pn = 440 \text{ kW}$$

$$\text{Potencial nominal} = 440 \text{ kW}$$

Calculo Paneles Solares

Para calcular los paneles necesarios que se necesitan para este proyecto, tomamos la energía diaria demandada en su totalidad con su proyección de 180 viviendas para el año 2036 en

la zona de pacifico sur, (792 kWh/día), con este dato entonces, se procede a encontrar la energía del panel

Para determinar la cantidad de paneles necesarios para cubrir la demanda energética diaria en la vereda, se comienza calculando la **energía generada por un panel** bajo condiciones estándar. La fórmula utilizada es:

$$\text{Energía del Panel} \qquad E_p = P_{MP} * HSP \qquad \text{(Ecuación 9)}$$

Donde:

- P_{MP} es la potencia máxima del panel, en este caso 585 Wp.
- HSP representa las horas pico de sol, que para nuestra ubicación se estima en 2 horas.

Aplicando estos valores:

$$E_p = 585Wp * 2 HSP = 1170Wh/día$$

$$E_p = 1170 Wh/día$$

Esto indica que cada panel puede generar **1.17 kWh/día** en las condiciones de irradiancia de la zona.

Número de Paneles Necesarios

Dado que la **demanda energética diaria proyectada** es de 800 kWh/día para la vereda en el año 2036, se puede calcular el número de paneles requeridos con la fórmula:

$$\text{Numero de paneles} \quad N_p = \frac{\text{energía diaria necesaria}}{\text{energía del panel}} \quad (\text{Ecuación 10})$$

Sustituyendo los valores:

$$N_p = \frac{792 \text{ kWh/día}}{1,17 \text{ kWh/día}}$$

$$N_p \cong 677 \text{ paneles}$$

Esto implica que, para cubrir completamente la demanda energética diaria, se necesitan **677 paneles** de 585 Wp bajo las condiciones especificadas.

Área de Paneles Solares

Para calcular el área que ocupan los 677 paneles solares, se utilizarán las dimensiones de su superficie (largo y ancho), ya que la altura no afecta el área en este caso. Las dimensiones de cada panel son 230.8 cm de largo y 112 cm de ancho, El área de un panel es $25849,6 \text{ cm}^2$.

$$\text{Área total de paneles} = 25849,6 \text{ cm}^2 * 677 = 17'481.126,4 \text{ cm}^2 \text{ (ecuación 22)}$$

$$\text{Área total de paneles} = 1.748,11 \text{ m}^2$$

Cálculo de la Potencia Pico Instalada

la potencia pico es el producto de los módulos a instalar por la potencia del panel.

Potencia pico

$$P_p = P_{MP} * HSP$$

(Ecuación 11)

Donde

$$P_{MP} = 585Wp$$

$$HSP = 2 \text{ Horas Sol Pico}$$

$$P_p = N_p * \text{potencia panel}$$

$$P_p = 677 * 585Wp$$

$$P_p \cong 400$$

Selección de los Componentes Adicionales del Sistema

Inversor

Se elige un inversor híbrido trifásico *WIT50-100k*, debido a la necesidad de gestionar múltiples fuentes de energía (paneles solares, baterías y generador de respaldo) y su potencia.

La salida trifásica permite distribuir de manera equilibrada la carga y garantizar un suministro eléctrico estable a la comunidad.

Su compatibilidad con el sistema de almacenamiento y su capacidad de operar en modo off-grid lo hacen ideal para este tipo de proyecto aislado.

Dispone de múltiples entradas **MPPT (Máximo Power Point Tracking)**, lo que permite optimizar la captación de energía de los paneles solares y maximizar la eficiencia del sistema en condiciones de variabilidad climática.

Además, la tecnología MPPT mejora la estabilidad del suministro energético, reduciendo

pérdidas y garantizando una mejor adaptación a los cambios en la radiación solar.

Figura 10

Inversor Híbrido WIT50-100k.



Nota. WIT50-100kW Inversor Híbrido elegido. Tomado de Grovatio-ingenio-100ktl3-h-lv [Fotografía], 2024. www.growatt.tech/es

Características del Inversor WIT50-100kW Inversor Híbrido

las características técnicas del inversor son claves para proporcionar una visión completa de su capacidad, rendimiento y especificaciones operativas para el diseño del sistema.

Tabla 5 Características del Inversor

Potencia Nominal	156000 W
Datos de entrada de la Batería	
Tipo de Batería	Li-Ion
Rango de voltaje	600 VDC ~ 1000 VDC
Max. Corriente de Carga	167 A.
Max. Corriente de Descarga	167 A.
Número de Entradas de Baterías	1
Estrategia de Carga para Batería de Iones de Litio	Adaptación automática a BMS.
Datos de Entrada de la Cadena FV	
Potencia Máxima de Entrada en DC (W)	156000
Voltaje Máximo de Entrada en DC (V)	1100
Voltaje de inicio (V)	195
Rango Voltaje MPPT(V)	180-800
Voltaje Nominal de Entrada en DC (V)	800
Corriente de Entrada de PV (A)	32 A por Mppt
Max. Corriente de Cortocircuito de PV (A)	40 A por Mppt
Número de entradas MPPT	10
Numero de cadenas por String	2

Nota. La tabla 5 detalla las características técnicas del inversor.

Sistema de Almacenamiento

El **sistema de almacenamiento** en proyectos de energía solar fotovoltaica permite acumular la energía generada durante el día para su uso en momentos de baja o nula radiación solar, como en la noche o en días nublados. En regiones no interconectadas, como la vereda Chachajo, un sistema de almacenamiento adecuado es fundamental para garantizar un suministro eléctrico continuo y confiable. Este sistema suele estar compuesto por baterías de alta capacidad que almacenan la energía producida por los paneles solares, permitiendo a la comunidad contar con electricidad de manera constante.

Se elige La **Batería de Litio WeCo 5K3 XP de 52V** cuenta con un doble sistema de gestión (BMS) para su uso en alto y bajo voltaje. Ofrece más de 7,800 ciclos de descarga al 100%, incluye conectividad Wifi y Bluetooth con una app de monitorización, y permite expandir hasta 15 baterías en paralelo o 16 en serie, alcanzando una capacidad de hasta 768 kWh en alto voltaje. Tiene una capacidad nominal de descarga de 1C y un pico de 2C, con 10 años de garantía. Al realizar descargas menos profundas, como al 80%, se pueden superar los 10,000 ciclos de vida útil.

Figura 11

Batería de Litio-WECO



Nota. Batería de litio WeCo 5K3 XP de 52V. Tomado de Batería de litio WeCo 5K3 XP de 52V [Fotografía], 2024, Weco. www.wecobatteries.com

para tener en cuenta en las baterías la tensión nominal, V_N , es la tensión en corriente directa que suministra la batería en funcionamiento normal. Puede ser de 2 V, 6 V, 12 V, 24 V, 48 V o más.

La tensión nominal, V_N , requerida en un sistema de acumulación para un sistema fotovoltaico depende de la potencia que requiera la instalación a abastecer. Esto se hace con el fin de evitar el tener que trabajar con corrientes altas.

Como criterio general, se puede decir que:

- Para una potencia menor a 1000 W, utilizar una V_n de 12 V.
- Para una potencia entre 1000 W y 5000 W, utilizar una V_n de 24 V o 48 V.
- Para una potencia mayor a 5000 W, utilizar una V_n de 48 V o mayor.

Características de Batería Elegida

las características técnicas clave de la batería, proporcionan una visión completa de su capacidad, rendimiento y especificaciones operativas.

Tabla 6 *Características de la Batería de Litio*

Especificaciones	
Modulo	OPzV 800 2V 1110Ah C100
Capacidad del modulo	5.3kWh
Voltaje nominal	52 Vdc
Capacidad	110 AH
<i>Carga y Descarga de corriente</i>	<i>110 AH (150 30sec)</i>

Nota. Tabla 6 de las características técnicas clave: capacidad, rendimiento y especificaciones operativas.

Cálculo de Baterías

Teniendo en cuenta que el rango de voltaje de entrada de Baterías del inversor varía entre 600-1000V, se debe hacer un arreglo en serie de las Baterías.

Baterías en Serie

$$B_s = \frac{\text{entrada de Bat. del inv}}{\text{voltaje de batería}} \quad (\text{Ecuación 12})$$

$$B_s = \frac{600}{52}$$

$$B_s \cong 12$$

Voltaje de entrada de Batería utilizando 12 en serie=624V.

Capacidad de Acumulación(C)

la **capacidad de acumulación** se refiere a la cantidad de energía que el sistema de almacenamiento (baterías) puede retener para suministrar a la comunidad durante períodos sin luz solar, como en las noches o en días nublados. Esta capacidad es crucial para asegurar un suministro eléctrico constante y confiable, independientemente de las condiciones climáticas.

Capacidad de Acumulador(CU)

Por otro lado, la **capacidad del acumulador** indica el almacenamiento específico de cada batería, expresado en kilovatios-hora (kWh), y representa la energía total que puede entregar antes de necesitar recargarse. Una capacidad de acumulador adecuada permite que el sistema fotovoltaico cubra las necesidades diarias de la comunidad de manera efectiva y sostenible.

Para calcular la capacidad de almacenamiento de energía, se diseña de la siguiente manera:

$$\text{Capacidad de acumulación (C)} \qquad C = \frac{Cu}{(Pd * Kt)} \qquad \text{(Ecuación 13)}$$

$$\text{Capacidad del acumulador (CU)} \qquad Cu = E * \frac{N}{Vn} \qquad \text{(Ecuación 14)}$$

$Cu = \text{Capacidad del acumulador}$

$Vn = \text{El rango de entrada de baterías inversor (600V – 1000 V)}$

se utiliza un arreglo de 12 Baterías en serie de 52V para alcanzar el rango de 600V-800V, se utilizará un arreglo predeterminado de fábrica de 15 baterías, distribuidas en 3 torres de 5 módulos.

$$Vn = 780 V$$

$Kt =$ Factor de corrección por temperatura

$N =$ Numero de dias de autonomia = 5

Factor de corrección de temperatura (kt)

$$Kt = 1 - \left(\frac{\Delta T}{160} \right) \quad \text{(Ecuación 15)}$$

Cálculo de la Diferencia de Temperatura

Usando una temperatura promedio de operación de 30°C. que es la temperatura promedio de la zona, la fórmula es la siguiente:

Diferencia de temperatura (ΔT)

$$\Delta T = T_{op} - T_{ref} \quad \text{(Ecuación 16)}$$

Donde

$$\Delta T = T_{op} - T_{ref}$$

$$\Delta T = 30^{\circ}C - 25^{\circ}C$$

$$\Delta T = 5^{\circ}C$$

Factor de Corrección de Temperatura

es un ajuste aplicado a las especificaciones de un panel solar para tener en cuenta cómo la temperatura afecta su rendimiento. Los paneles solares son más eficientes a temperaturas más

bajas, y su rendimiento tiende a disminuir cuando la temperatura aumenta, debido a que el calor excesivo afecta la capacidad de los materiales semiconductores dentro de los paneles.

Cada panel solar tiene un **coeficiente de temperatura**, que indica el porcentaje de pérdida de potencia por cada grado Celsius que la temperatura del panel se desvía de una temperatura estándar (normalmente 25 °C). Por ejemplo, si un panel tiene un coeficiente de -0.5%/°C y la temperatura del panel aumenta en 10 °C por encima de 25 °C, el rendimiento disminuirá en un 5%.

El factor de corrección de temperatura es esencial en el dimensionamiento y evaluación de sistemas solares, especialmente en regiones con altas temperaturas, para asegurar que el sistema se diseñe considerando las pérdidas de potencia y cumpla con la demanda energética real.

Factor de corrección de temperatura

$$Kt = 1 - \left(\frac{\Delta T}{160} \right)$$

Ecuación 15

Donde

$$Kt = 1 - \left(\frac{\Delta T}{160} \right)$$

$$Kt = 1 - \left(\frac{5^{\circ}\text{C}}{160} \right)$$

$$Kt \cong 0,97^{\circ}\text{C}$$

Cálculo de Energía Requerida por las Baterías

El cálculo de la energía requerida por las baterías en un sistema fotovoltaico se realiza para asegurar que la capacidad de almacenamiento sea suficiente para abastecer el consumo durante los períodos sin generación solar (por ejemplo, en la noche o en días nublados).

$$\text{Energía requerida por las baterías} \quad E_{Bateria} = \frac{E_T}{V_n} \quad (\text{Ecuación 16})$$

Donde

$$E_{Bateria} = \frac{E_T}{V_n}$$

$$E_{Bateria} = \frac{792kWh/dia}{780V}$$

$$E_{Bateria} = C_u = 1.015,4 \text{ AH}$$

Capacidad de acumulación (C) o Calculo de la capacidad total de la batería

$$C = \frac{C_u}{(Pd * Kt)}$$

$$C = \frac{1015,4 \text{ AH}}{(0.8 * 0.97^\circ\text{C})}$$

$$C \cong 1308,5 \text{ Ah}$$

Cálculo de Autonomía del Banco de Baterías

El cálculo de autonomía en un sistema de almacenamiento de energía sirve para determinar cuántos días o cuántas horas el sistema puede proveer electricidad sin recibir nueva energía, como la generada por los paneles solares. Este cálculo es especialmente útil en áreas con climas variables, como la vereda El Chachajo, donde puede haber días sin suficiente luz solar. La autonomía permite dimensionar correctamente el sistema de baterías para que pueda soportar la demanda energética de la comunidad

$$\text{Calculo de Autonomía} \quad C_A = C * N \quad \text{(Ecuación 17)}$$

$$C_A = C * N(\text{Número de dias de autonomia})$$

$$C_A = 1308,5 \text{ AH} * 5$$

$$C_A = 6542,5 \text{ Ah.}$$

Cantidad de Baterías

Para definir la cantidad de baterías realizamos el siguiente calculo:

$$\text{Cantidad de Baterías} \quad B = \frac{C_A}{\text{Capacidad invidual de las baterias}} \quad \text{(Ecuación 18)}$$

Donde

$B = \text{numero de baterias}$

$C_A = \text{Capacidad de acumulaci3n (C)}$

En la capacidad individual de las baterías usaremos un arreglo de baterías en paralelo para aumentar el amperaje, para este caso 10 paralelos, nos da un amperaje de 1100 AH.

Entonces

$$B = \frac{6542,5 \text{ Ah}}{1100 \text{ AH}}$$

$$B \cong 6$$

Para este sistema se requiere un arreglo de baterías WeCo 5K3 XP de 52V y 110Ah. El diseño consiste en 15 baterías conectadas en serie, con 10 conjuntos en paralelo, distribuidos en 6 bloques.

$$\text{Total de baterias} = 12 \text{ en serie} * 10 \text{ paralelos} * 6 \text{ bloques} = 900$$

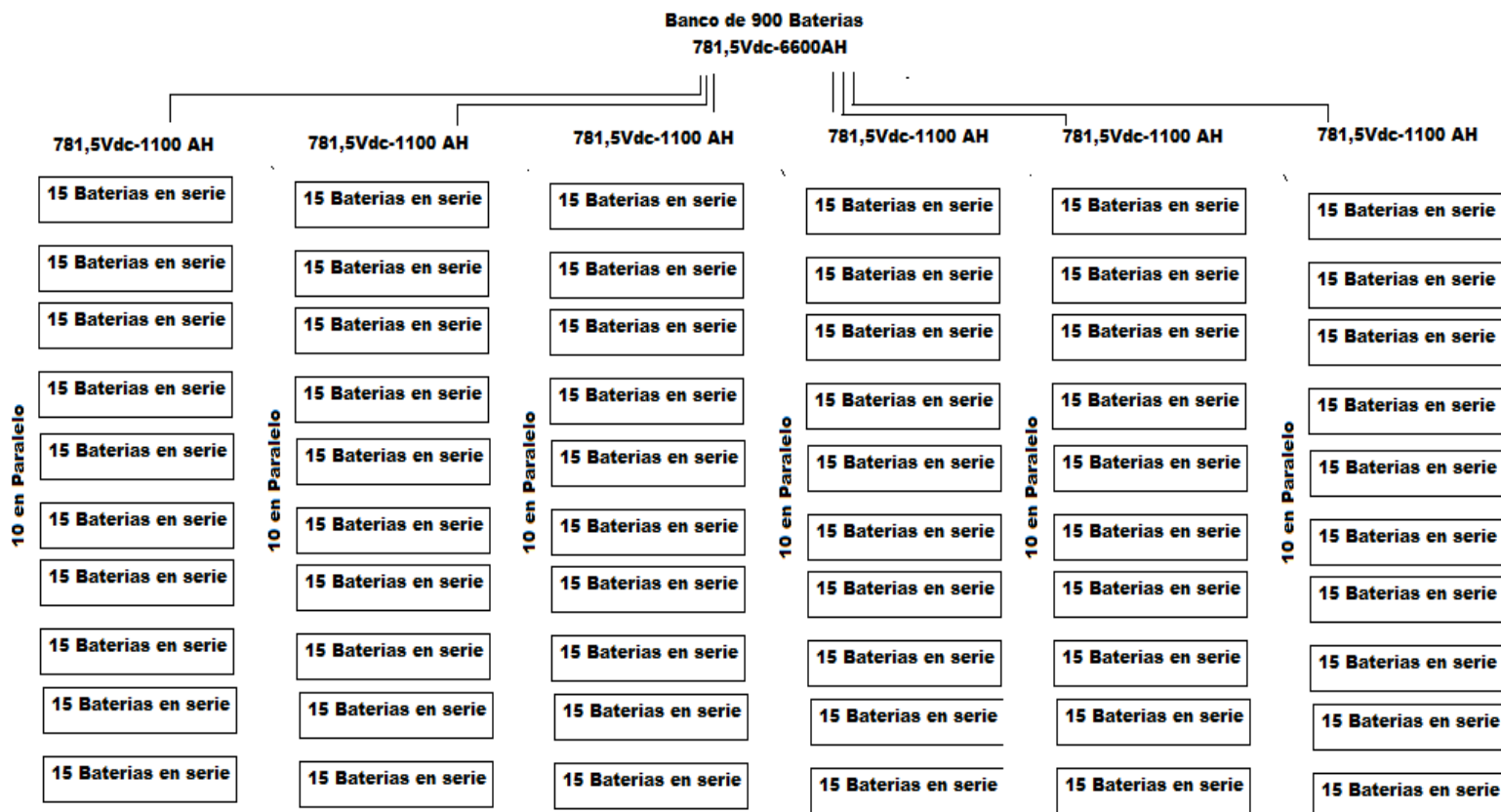
Esto da un total de **900 baterías**, formando un sistema eficiente y escalable.

Configuraci3n de Baterías

La configuraci3n de baterías en un sistema de almacenamiento fotovoltaico se diseña en funci3n de la capacidad energ3tica necesaria y las característic3s t3cnicas del sistema. Las baterías pueden conectarse en serie, paralelo o una combinaci3n de ambas, dependiendo de los requisitos de voltaje y capacidad de almacenamiento. Una configuraci3n en serie aumenta el voltaje total, mientras que una conexi3n en paralelo incrementa la capacidad de almacenamiento (amperaje), manteniendo el mismo voltaje.

Figura 12

Configuración Baterías



Nota. Configuración del banco de baterías WeCo 5K3 XP con una capacidad de 781.5 Vdc y 6600 Ah. Este arreglo consiste en 15 baterías conectadas en serie, con 10 conjuntos en paralelo, distribuidos en 6 bloques.

Cálculos del Sistema Inversor

Cálculo de Módulos en el Inversor

Para calcular cuántos módulos (o paneles) puede soportar un controlador MPPT (Máximo Power Point Tracker), se toma en cuenta el voltaje de circuito abierto (Voc) de cada panel en lugar de otros valores como la potencia máxima, ya que este parámetro permite conocer el voltaje máximo alcanzado sin carga. El controlador MPPT debe mantener este voltaje dentro de su rango operativo para funcionar de manera óptima.

En este caso:

Procedemos a calcular la Totalidad de módulos soportados en los MPPT:

Tenemos que la entrada de tensión de un MPPT oscila entre 180 V a 800 V, pero para calcular se utiliza el Voc del panel: 52,47 V entonces:

$$\text{Maximo paneles conectados (por MPPT)} \quad M_{pc} = \frac{\text{Rango max inversor}}{\text{Voltaje de circuito abierto del panel}} \quad (\text{Ecuación 19})$$

(Ecuación 20)

$$M_{pc} = \frac{\text{Rango max inversor}}{\text{Voltaje de circuito abierto del panel}}$$

$$\text{Maximo paneles conectados (por MPPT)} = \frac{800V}{52,47} = 15,2 \cong 15 \text{ paneles}$$

Cálculo del Número Máximo de Strings en Paralelo por MPPT

Cada MPPT tiene una capacidad de **36 A**, y la corriente de cada panel es **14.33 A**.

Cuando conectas strings en paralelo, la corriente de cada string se suma. Así que el número máximo de strings en paralelo por cada entrada MPPT se puede calcular usando la siguiente fórmula:

$$\text{Maximo numero de string en paralelo} \quad Max_{sp} = \frac{\text{corriente maxima (mppt)}}{\text{corriente del panel}} \quad (\text{Ecuación 21})$$

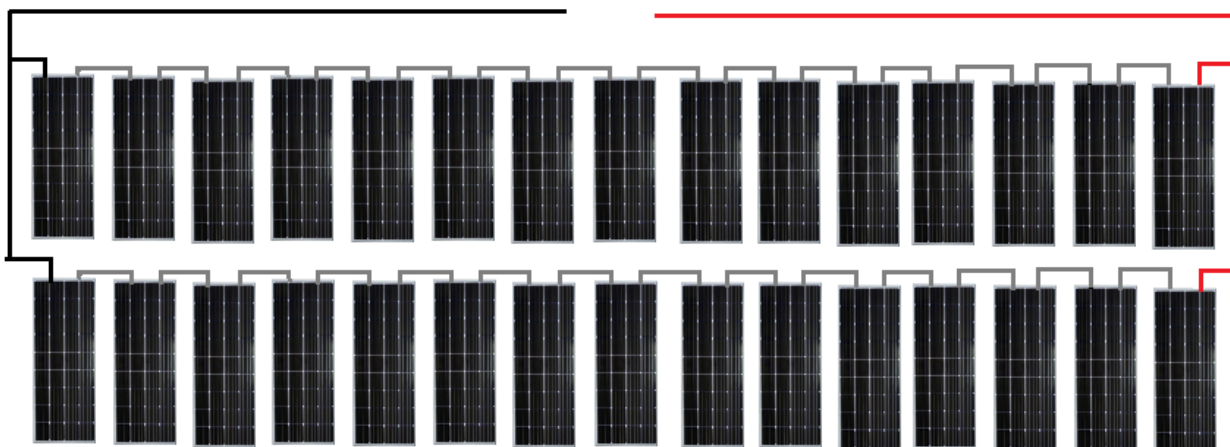
$$Max_{sp} = \frac{36 A}{14,33 A} = 2.51$$

Esto significa que puedes conectar máximo 2 strings en paralelo por cada entrada MPPT, ya que no es posible exceder la capacidad de 36 A de la entrada MPPT. Se hace la siguiente configuración:

Figura 13

Arreglo de Paneles Solares

652 VDC -- 26.88 A



Nota. configuración del arreglo con 15 paneles conectados en serie en un solo paralelo.

el inversor cuenta 10 entradas MPPT y cada una de ellas cuenta con dos string, sería 20 string en total.

$$20 \text{ string} * 30 \text{ Paneles} = 600 \text{ paneles por inversor}$$

la cantidad de módulos que requerimos para la de demanda energía del sistema son 677.

Por lo cual se necesitan dos inversores.

Cabe recordar que la cantidad mínima de paneles conectadas al MPPT es la siguiente:

$$\text{Minimo paneles conectados (por MPPT)} \quad \text{Min}_{pc} = \frac{\text{Rango min inversor (mppt)}}{\text{Voltaje maximo del panel}} \quad \text{(Ecuación 22)}$$

$$\text{Min}_{pc} = \frac{\text{Rango minimo Voltaje inversor (mppt)}}{\text{Voltaje maximo del panel}}$$

$$\text{Minimo paneles conectados en serie (por MPPT)} = \frac{180V}{43,53V} \cong 4,13 \text{ Paneles}$$

Se redondea hacia arriba, 5 paneles mínimo por entrada MPPT.

Como resultado Se obtiene un máximo de 15 paneles en serie por string, hasta 2 strings en paralelo por entrada. Además, se requiere un mínimo de 5 paneles conectados en serie en cada entrada.

Al necesitar 2 inversores para los 677 paneles, se debe balancear dichos paneles en los dos inversores, recordando que cada inversor trae 10 entradas mppt con dos string cada uno,

tomando los cálculos anteriores, los máximos, mínimos de paneles conectados a los string y el paralelo por string.

Las tablas 7 y 8 presentan la configuración de los paneles en el inversor 1 (maestro) y el inversor 2 (esclavo), respectivamente.

Tabla 7 Configuración Paneles Inversor Maestro

WIT50-100kW Inversor Híbrido-Maestro				
N° MPPT		N° de paneles	Conexión en Paralelo	Total, Paneles por string
MPPT 1	String 2	9	2	18
	String 1	9	2	18
MPPT 2	String 2	9	2	18
	String 1	9	2	18
MPPT 3	String 2	9	2	18
	String 1	9	2	18
MPPT 4	String 2	9	2	18
	String 1	9	2	18
MPPT 5	String 2	9	2	18
	String 1	9	2	18
MPPT 6	String 2	8	2	16
	String 1	8	2	16
MPPT 7	String 2	8	2	16
	String 1	8	2	16
MPPT 8	String 1	8	2	16
	String 2	8	2	16
MPPT 9	String 2	8	2	16
	String 1	8	2	16
MPPT 10	String 2	8	2	15
	String1	8	2	16
Total, paneles				339

Nota. La tabla 7 presenta la configuración de los MPPT en el inversor maestro.

Tabla 8 Configuración Paneles Inversor 2(esclavo)

WIT50-100kW Inversor Híbrido-Esclavo				
N° MPPT		N° de paneles	Conexión en Paralelo	Total, Paneles por string
MPPT 1	String 2	9	2	18
	String 1	9	2	18
MPPT 2	String 2	9	2	18
	String 1	9	2	18
MPPT 3	String 2	9	2	18
	String 1	9	2	18
MPPT 4	String2	9	2	18
	String 1	9	2	18
MPPT 5	String 2	9	2	18
	String 1	9	2	18
MPPT 6	String 2	8	2	16
	String 1	8	2	16
MPPT 7	String 2	8	2	16
	String 1	8	2	16
MPPT 8	String 2	8	2	16
	String 1	8	2	16
MPPT 9	String 2	8	2	15
	String 1	8	2	16
MPPT 10	String 1	8	2	15
	String2	8	2	16
Total, paneles				338

Nota. La tabla 8 presenta la configuración de los MPPT en el inversor esclavo.

Energía Diaria Producida

Teniendo en cuenta que la Potencia de los paneles $\cong 400 \text{ kw}$, Para hallar la energía diaria producida por los paneles solares, multiplicamos la potencia total de paneles por el número de Horas Sol Pico:

$$\text{Energía diaria producida} \qquad \qquad \qquad E_{dp} = P_{TP} * HSP \qquad \qquad \qquad \text{(Ecuación 24)}$$

$$E_{dp} = 400 \text{ kW} * 2 \text{ Horas Sol pico}(HSP) = 800 \text{ kWh}$$

Es la misma cantidad energía necesaria que se calculó para el sistema.

Comprobación de Compatibilidad entre el Generador FV y el Acumulador.

Para detectar si existe un desequilibrio entre el grupo generador FV y el grupo acumulador empleado, se recomienda realizar a siguiente comprobación:

La intensidad de cortocircuito del generador FV, (ICC G) debe ser mayor o igual que la capacidad del acumulador (C), dividido por 25.

$$\text{Intensidad corto circuito G.} \qquad \qquad \qquad I_{ccg} \geq \frac{C}{25} \qquad \qquad \qquad \text{(Ecuación 25)}$$

$$I_{ccg} \geq \frac{C}{25}$$

ICCG Por Inversor=20 string * 14,07=281,4

Donde $I_{ccg} = 281,4 \text{ A}$

$$I_{ccg} \geq \frac{1308,5 \text{ Ah}}{25}$$

$$I_{ccg} \geq 52,3 \text{ AH}$$

Este dato nos indica que el campo fotovoltaico está equilibrado respecto a las baterías, y ante una descarga profunda de las baterías, cargarían perfectamente.

Estructuras

Las estructuras de paneles solares son un elemento indispensable en la instalación fotovoltaica ya que permiten aprovechar al máximo su rendimiento. Esto implica la recepción de la luz solar dependiendo de la orientación e inclinación óptima para la instalación.

Las estructuras tipo suelo para paneles solares son una solución ideal para instalaciones en terrenos abiertos, proporcionando una base estable y robusta para los paneles. Estas estructuras están diseñadas para soportar diversas condiciones climáticas y maximizar la eficiencia de los paneles al permitir ajustes de inclinación y orientación. Suelen estar hechas de materiales resistentes como aluminio o acero galvanizado, lo que garantiza durabilidad y resistencia a la corrosión. Además, las estructuras tipo suelo permiten una instalación y mantenimiento más accesibles, facilitando la limpieza y reparación de los paneles solares. Son especialmente útiles en proyectos a gran escala, como parques solares, donde el espacio en el techo no es suficiente o no es una opción viable.

Figura 14

Estructura de Soporte para Paneles Solares



Nota. estructura tipo suelo. Tomado de estructura de suelo[Grafica de Referencia], 2024,Auto Solar. [www. autosolar.co](http://www.autosolar.co).

Cálculo de Cableado y Protección de Paneles

El diseño del cableado debe considerar las condiciones específicas de cada tramo de la instalación. Para calcular las secciones de cable necesarias, es fundamental evaluar las condiciones eléctricas en cada punto, especialmente la tensión y la corriente. Otro parámetro crucial es la longitud del cable utilizado. Es preferible mantener las longitudes de cable lo más cortas posible. Cuando la longitud del cable es significativa, se requieren secciones de cable más grandes para compensar la caída de tensión, lo que puede incrementar los costos y la complejidad de la instalación.

Es crucial utilizar cableado con el máximo aislamiento y resistencia a las inclemencias ambientales. Este tipo de cables cuentan con una capa aislante gruesa y resistente, que protege el conductor de cobre, asegurando así una mayor durabilidad y seguridad en condiciones adversas. Este aislamiento robusto es fundamental para prevenir daños y mantener la integridad del sistema eléctrico a lo largo del tiempo.

Para calcular las secciones de los cables en cada tramo de la instalación se utilizarán las recomendaciones específicas para cada tramo, y en los casos necesarios, la siguiente fórmula:

Cableado

$$S = \frac{2 * L * I}{\Delta V * k} \quad \text{(Ecuación 26)}$$

Donde:

S = Sección de cable

L = Longitud de cable

I = Intensidad máxima de corriente en el cable

ΔV = Caída de tensión permitida en el tramo

k = Conductividad eléctrica del cable

Según la caída de tensión permitida se debe fijar en un 1,5 % de la tensión de funcionamiento.

Para nuestros 102.4 V, este porcentaje equivale a 1.53.

El material de los cables será el cobre, cuya conductividad eléctrica depende con la temperatura., se utilizará el valor estándar, que en el caso del cobre es:

(Ecuación 27)

$$k = 56 \left[\frac{m}{\Omega} * mm^2 \right]$$

Longitud

al tratarse de una instalación en un contenedor los elementos estarán cerca unos de otros y para este tramo se hace una estimación de un máximo de 15 m de cable.

Intensidad

será la máxima del campo fotovoltaico. En nuestro caso, se tiene cuatro grupos de 8 paneles en serie, conectados cada uno a la entrada MPPT. La intensidad máxima de cada conjunto de paneles era: 14.07 A.

- **Caída de Tensión:1.53V.**

Con estos datos calculamos:

(Ecuación 26)

$$S = \frac{2 * L * I}{\Delta V * k}$$

$$S = \frac{2 * 15 * 14.07}{1.53V * 56 \left[\frac{m}{\Omega} * mm^2 \right]}$$

$$S = 4.93 \text{ mm}^2$$

Esta es la sección mínima de cable que une cada grupo de paneles con la entrada MPPT del inversor que los controla.

Figura 15*Valores Normalizados en el Sistema AWG*

Columna 1a	Columna 1b	Columna 2	Columna 3	Columna 4	Columna 5a	Columna 5b
Indicación de sección norteamericana buscada		Conversión geométrica	Sección nominal métrica que cumple los requisitos eléctricos	Sección nominal métrica buscada	Magnitud norteamericana que cumple los requisitos eléctricos	
AWG	kcmil	mm ²	mm ²	mm ²	AWG	kcmil
9		6,63			8	
10		5,26	6	6	9	
11		4,17			10	
12		3,31	4	4	11	
13		2,62			12	
14		2,08	2,5	2,5	13	
15		1,65			14	
16		1,31	1,5	1,5	15	
17		1,04			16	
18		0,82	1	1	17	
19		0,65	0,75	0,75	18	
20		0,52			19	
21		0,41	0,5	0,5	20	
22		0,33	0,34	0,34	21	
23		0,26			22	
24		0,20	0,25	0,25	23	
25		0,16			24	
26		0,13	0,14	0,14	25	

Nota. valores normalizados en el sistema AWG americano. Tomado de Sistema awg americano[Grafica de Referencia], 2024,Electroshop. www.Solectroshop.com

Figura 16

Amperaje que Soportan los Cables de Cobre

Amperaje que soportan los cables de cobre					
Nivel de temperatura:	60°C	75°C	90°C	60°C	
Tipo de aislante:	TW	RHW, THW, THWN	THHN, XHHW-2, THWN-2	SPT	
Medida / calibre del cable	Amperaje soportado			Medida / calibre del cable	Amperaje soportado
14 AWG	15 A	15 A	15 A	20 AWG	2 A
12 AWG	20 A	20 A	20 A	18 AWG	10 A
10 AWG	30 A	30 A	30 A	16 AWG	13 A
8 AWG	40 A	50 A	55 A	14 AWG	18 A
6 AWG	55 A	65 A	75 A	12 AWG	25 A
4 AWG	70 A	85 A	95 A		
3 AWG	85 A	100 A	115 A		
2 AWG	95 A	115 A	130 A		
1 AWG	110 A	130 A	145 A		
1/0 AWG	125 A	150 A	170 A		
2/0 AWG	145 A	175 A	195 A		
3/0 AWG	165 A	200 A	225 A		
4/0 AWG	195 A	230 A	260 A		

Nota. cableado que se debe utilizar #10 THHN/THWN-2. Tomado de Amperaje que soportan los cables[Graficas de Referencia], 2024, mas voltaje. www.masvoltaje.com

Parámetros Obtenidos

En la tabla 9 agrupamos los parámetros obtenidos durante el diseño de los estudios de instalación del sistema fotovoltaico.

Tabla 9 *Tabla de Parámetros Obtenidos*

Parámetro	Valor	Unidad	Descripción
Población	1406	Personas	Estimación de la población para el año 2036
Casas	180	Vivienda	Estimación del número de casas para el año 2036
Consumo promedio mensual actual	44,14	<i>kWh/mes</i>	Energía demandada mensualmente.
Consumo promedio diario actual	1,471	<i>kWh/dia</i>	Energía demandada en el día.
Potencia actual diaria	0,0613	<i>kW</i>	Potencia demandada diariamente en la actualidad.
Potencia demandada a futuro	22,194	<i>kW</i>	Potencia demanda para 180 casas de la vereda.
Consumo promedio diario a futuro	2.952	<i>kWh/dia</i>	Energía proyectada para el año 2036.
Consumo Real	4	<i>kWh/dia</i>	Energía real necesaria para cada casa.
Consumo Real total	792	<i>kWh/dia</i>	Energía requerida para el sistema con un sobre dimensionamiento del 10%.
Rendimiento	0.727		consumo real respecto al rendimiento R.

Horas sol pico (HSP)	2	Horas	la cantidad de energía solar recibida en un día en términos de la cantidad de horas en las que la irradiancia solar es de 1000 W/m ² (vatios por metro cuadrado)
Numero de Paneles	677		Cantidad de paneles solares necesarios para alcanzar la potencia deseada.
Potencia del Panel	585	Wp	Potencia nominal de cada panel solar.
Potencia del sistema día	800	kWh	Energía dada por los paneles solares
Energía diaria por panel	1,170	kWh/día	Energía diaria por 2 horas de sol pico diarias, por panel.
Energía diaria generada por todos los paneles	400	kWh/día	Potencia diaria por 2 horas sol pico diarias por 677 Paneles.
Voltaje de panel	43,53	V	es la tensión en la cual el producto de la corriente y la tensión ($I \times V$) es máximo. (Vmp).
Corriente Max. del Panel	13,44	A	es la corriente que fluye a través del panel solar cuando está operando en su punto de máxima potencia (Imp)
Voltaje Circuito abierto	52.47	V	El Voc es la máxima tensión que puede generar un panel solar cuando no está conectado

			a una carga y no hay corriente fluyendo en el circuito.
Corriente de corto circuito	14.07	A	Representa la corriente máxima que puede producir un panel solar bajo condiciones de irradiancia y temperatura estándar. (Isc)
Inclinación de los Paneles	10°	grados	Ángulo de inclinación óptimo para los paneles solares.
Eficiencia del Inversor	95%		Eficiencia del inversor utilizado en el sistema.
Potencia Nominal del inversor	10000	W	Potencia que el inversor puede manejar de manera continua sin sobrecalentarse o sufrir daños.
Rango de voltaje de trabajo DC en el inversor	300-900	VDC	Rango de voltaje de trabajo del inversor.
Rango de voltaje MPP a carga completa	400-800	VDC	asegura que el inversor puede operar eficientemente en un amplio rango de voltajes, lo que permite maximizar la generación de energía
Entrada mppt/string	2/2		es crucial para asegurar que el inversor pueda extraer y convertir eficientemente la energía de los paneles solares

Entrada baterías del inversor	150-800	VDC	Rango de voltaje de entrada del inversor para las baterías.
Tensión de la Batería	52	VDC	Tensión Nominal de la batería.
Capacidad de acumulación	1321,7	AH	La capacidad de acumulación se refiere a la cantidad de energía que puede almacenar un sistema de baterías. Esta capacidad se mide generalmente en amperios-hora (Ah)
Capacidad del acumulador	6608,7	AH	referida a la capacidad de una batería, es la cantidad total de energía que la batería puede almacenar y entregar bajo condiciones específicas. Esta capacidad se mide generalmente en amperios-hora (Ah)
Amperios hora batería	1100	AH	Amperios horas descarga de batería.

Nota. La tabla 9 se presentan los valores obtenidos en el diseño.

Cálculos en Matlab

Se realizaron cálculos en MATLAB para evaluar diferentes parámetros energéticos en la vereda de Chachajo, ubicada en la región del Litoral del San Juan, en la costa pacífica colombiana, a través de un modelado matemático en Matlab, se han determinado variables clave como la generación fotovoltaica, la demanda energética y la eficiencia del sistema propuesto. Los resultados obtenidos fueron comparados con los cálculos realizados manualmente, evidenciando una alta concordancia entre ambos métodos, lo que valida la precisión de las simulaciones y permite optimizar el diseño y dimensionamiento del sistema, garantizando una solución eficiente y sostenible para la comunidad.

Figura 17

Diseño en Matlab 1

```
Command Window
New to MATLAB? See resources for Getting Started.
printc ( número de inversores necesarios: 2000 , W_1),
Ingresa el tipo de consumo de energía:
1. Por mes
2. Por día
Elige una opción (1 o 2):
1
Ingresa el consumo de energía mensual en kWh:
44.14
Consumo de energía diario: 1.47 kWh
Potencia horaria: 0.06 kW
Ingresa el número de años a proyectar a futuro:
12
Ingresa el porcentaje de crecimiento anual (%):
6.3
Ingresa el número de viviendas en el futuro:
180
Potencia horaria en 12 años: 0.1276 kW
Potencia demandada en 12 años para 180 viviendas: 22.9706 kW
Consumo de energía en el futuro en 12 años: 3.0627 kWh
Ingresa el coeficiente de pérdidas por rendimiento del acumulador (Kb):
0.1
Ingresa el coeficiente de pérdidas en el convertidor (Kc):
0.05
```

```
Ingresar el coeficiente de pérdidas varias (Kv):  
0.1  
Ingresar el coeficiente de auto descarga diaria (Ka):  
0.005  
Ingresar los días de autonomía (N):  
5  
Ingresar la profundidad de descarga (Pd):  
0.8  
Rendimiento del sistema: 0.7266  
Consumo real respecto al rendimiento: 4 kWh  
Consumo real respecto al número de viviendas: 720.0000 kWh  
Ingresar el porcentaje de sobredimensionamiento del sistema (%):  
10  
Consumo final con sobredimensionamiento: 792.0000 kWh  
Ingresar el número de horas sol pico (HSP):  
2  
Ingresar la potencia del panel solar (Wp):  
585  
Ingresar el voltaje máximo del panel solar (Vmp):  
43.53  
Ingresar la corriente máxima del panel solar (Imp):  
13.44  
Ingresar el voltaje de circuito abierto del panel solar (Voc):  
52.47  
Ingresar la corriente de cortocircuito del panel solar (Isc):  
14.07  
Características del panel solar:  
Potencia del panel: 585.00 Wp  
Voltaje máximo (Vmp): 43.53 V  
Corriente máxima (Imp): 13.44 A  
Voltaje de circuito abierto (Voc): 52.47 V  
Corriente de cortocircuito (Isc): 14.07 A  
Ingresar el rendimiento del generador fotovoltaico (ng) entre 0.8 y 0.9:  
0.9
```

Nota. resultados iniciales e intermedios del Diseño en Matlab.

Figura 18

Diseño en Matlab 2

```

Command Window
New to MATLAB? See resources for Getting Started.
Potencia nominal del generador fotovoltaico: 440.00 kW
Energía producida por un panel solar: 1.17 kWh
Número de paneles necesarios: 677
Potencia pico instalada: 396.00 kWp
Ingresa la Potencia Máxima de Entrada en DC del inversor (W):
156000
Ingresa el Voltaje Máximo de Entrada en DC del inversor (V):
1100
Ingresa el Voltaje de inicio (V) del inversor:
195
Ingresa el Voltaje Mínimo del Rango de Voltaje MPPT (V) del inversor:
180
---
800
Ingresa la Corriente de Entrada de PV (A) del inversor:
32
Ingresa el Número de entradas MPPT:
10
Ingresa el Número de cadenas por String:
2
Ingresa el tipo de batería:
litio
Ingresa el rango mínimo de voltaje de la batería (V) del inversor:
600
Ingresa el rango máximo de voltaje de la batería (V) del inversor:
1000
Ingresa la máxima corriente de carga (A) del inversor:
157
Ingresa la máxima corriente de descarga (A) del inversor:
157
Ingresa el número de entradas de baterías en el inversor:
1
Datos de la batería:
Tipo de Batería: litio
Rango de voltaje: 600.00 V - 1000.00 V
Máxima Corriente de Carga: 157.00 A

Máxima Corriente de Descarga: 157.00 A
Número de Entradas de Baterías: 1
Ingresa el voltaje nominal de la batería (V):
52.1
Número de baterías en serie: 11.52
Voltaje de entrada de la batería: 600.00 V
Ingresa el arreglo de voltaje de la batería de fabrica (Vn):
781
Ingresa la temperatura promedio de operación (°C):
30
Ingresa el amperaje del arreglo baterías (A):
6600
Factor de corrección por temperatura (Kt): 0.97
Capacidad del acumulador (Cu): 5.07 Ah
Capacidad de acumulación (C): 6.54 Ah
Amperaje del arreglo de Baterías (A_baterías): 6600.00 Ah
Cantidad de baterías necesarias (redondeada): 9.912850e-04
Máximo de paneles conectados por MPPT: 15
Mínimo de paneles conectados por MPPT: 5
Paneles soportados por el inversor: 6.098723e+02
Paneles soportados por el inversor: 610
Número de inversores necesarios: 2

```

Nota. resultados finales del Diseño en Matlab.

Conexiones

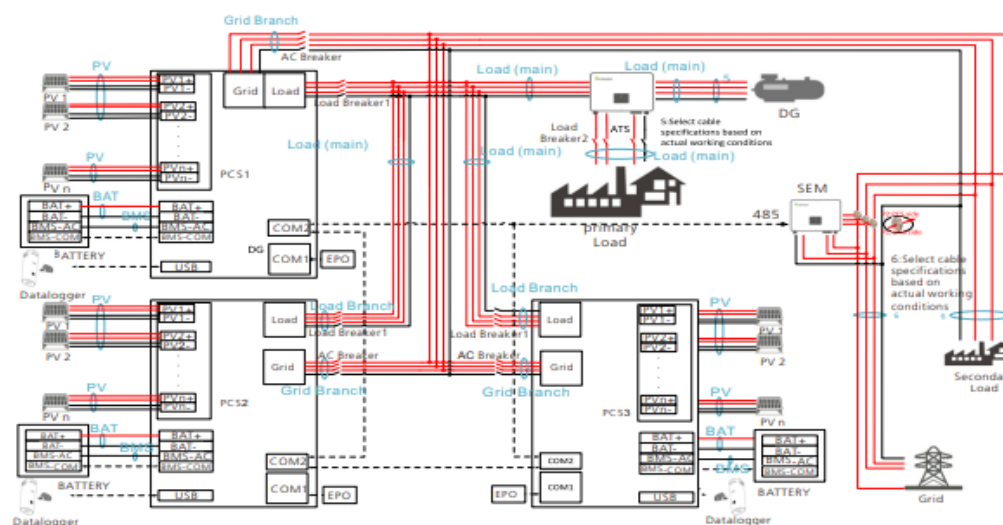
A continuación, se presentan unos diagramas de conexiones de un sistema fotovoltaico diseñado que permiten la conversión de la energía solar en energía eléctrica.

el cableado del sistema de inversores WIT 50-100K-HU, cómo los paneles solares están conectados en serie y en paralelo, formando un generador fotovoltaico que alimenta un inversor, el cual convierte la corriente continua (CC) generada en corriente alterna (CA) utilizable.

También se detallan las conexiones hacia el banco de baterías, encargado de almacenar la energía para su uso en momentos de baja irradiación solar, y el sistema de monitoreo que permite la supervisión y control del rendimiento del sistema. Las protecciones eléctricas, como fusibles y desconectores, se incluyen para garantizar la seguridad y el correcto funcionamiento del sistema.

Figura 19

Cableado del Sistema con Tres Inversores WIT 50-100K-HU



A maximum of 7 PV strings can be connected to the WIT 50K Hybrid Inverter; 8 strings to the 63K model and 10 strings to the 75K and 100K models.

	PV	BAT	BMS	Load Branch	Grid Branch	Load Branch	Load Breaker1	Load Breaker2	AC Breaker	Bypass Breaker	PV	BAT	BMS	Load Branch	Grid Branch	Load Branch	Load Breaker1	Load Breaker2	AC Breaker	Bypass Breaker	
50K	4-6 mm ²	50 mm ²	1.5 mm ²	35 mm ²	95 mm ²	95 mm ²	150A	400A	300A	400A	75K	4-6 mm ²	50 mm ²	1.5 mm ²	70 mm ²	150 mm ²	150 mm ²	250A	600A	400A	600A
63K	4-6 mm ²	50 mm ²	1.5 mm ²	35 mm ²	95 mm ²	95 mm ²	150A	400A	300A	400A	100K	4-6 mm ²	50 mm ²	1.5 mm ²	70 mm ²	150 mm ²	150	250A	600A	400A	600A

24
Wiring diagram of the system with three WIT 50-100K-HU inverters connected in parallel

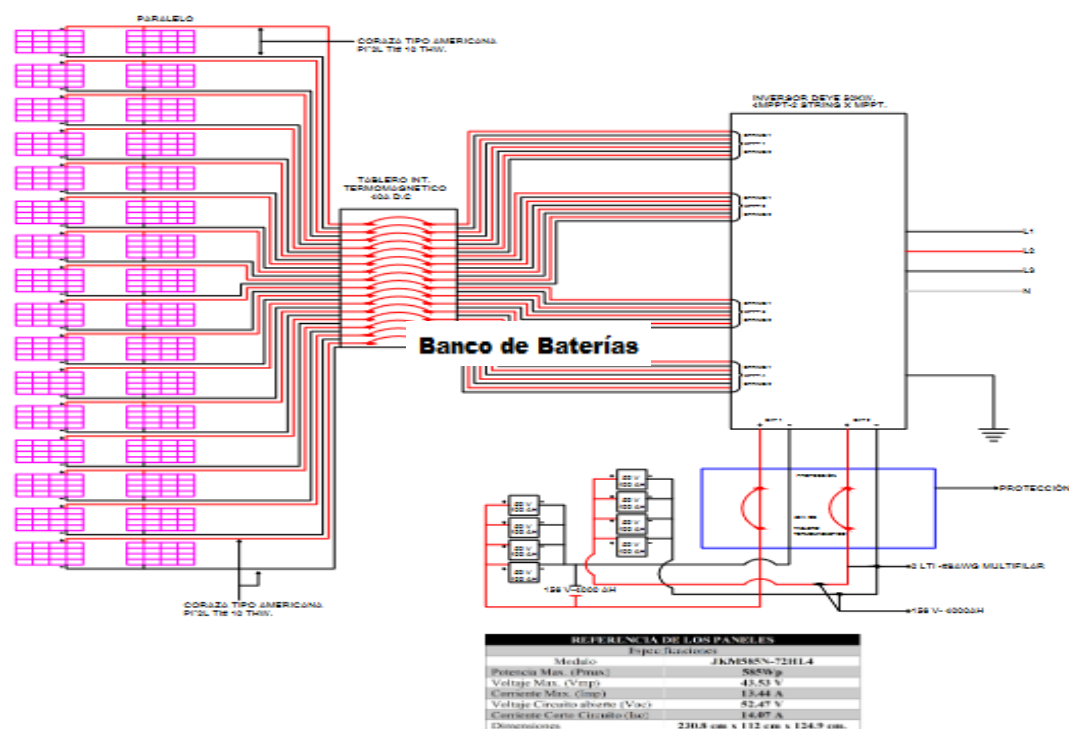
Nota. configuración de dos inversores conectados en modo maestro-esclavo, en un sistema híbrido.

Conexión de inversores

El sistema optimiza la generación y almacenamiento de energía conectando los paneles solares al inversor, que convierte la energía en electricidad utilizable, y al banco de baterías, que almacena el exceso para su uso posterior. Además, incorpora dispositivos de protección para prevenir sobrecargas y fallos eléctricos, garantizando seguridad y eficiencia.

Figura 21

Conexión de paneles y baterías al inversor



Nota. conexión de Paneles y Baterías al inversor.

Análisis de Costos

Análisis de Favorabilidades

Colombia, país rico en recursos naturales y diversidad geográfica, presenta un entorno propicio y diversas oportunidades para la ejecución de proyectos de electrificación rural. Con un compromiso creciente hacia el desarrollo sostenible y la inclusión social, el Estado colombiano ha implementado políticas y programas destinados a promover el acceso a la energía en áreas rurales remotas. Este análisis se centra en las bondades y facilidades que ofrece el contexto colombiano para el financiamiento y la ejecución de proyectos de electrificación rural, destacando los recursos disponibles, las políticas gubernamentales y las iniciativas de colaboración público-privada que han contribuido a avanzar en este importante campo, las políticas actuales son:

- el Gobierno Nacional, en el PND 2014-2018 “Todos por un nuevo país” se comprometió a crear la estrategia de integración y desarrollo regional del litoral Pacífico, Plan Todos Somos PAZcífico (PTSP) actualmente Fondo para el Desarrollo del Plan Todos Somos PAZcífico, que tiene como objetivo cerrar las brechas existentes entre la región Pacífico y el país, y al interior de sus franjas (litoral y andina), a partir de un desarrollo socioeconómico con equidad y de la integración del territorio con sus fronteras y el resto del país, teniendo como principio la sostenibilidad ambiental del territorio. Lo anterior, fue ratificado en el Plan Nacional de Desarrollo 2018-2022 “Pacto por Colombia, Pacto por la Equidad” según lo dispuesto por el artículo 336 de la Ley 1955 de 2019, que además en su artículo 287 de la Ley 1955 de 2019, por la cual se adopta el Plan Nacional de Desarrollo, indicó que “el suministro de energía eléctrica a un domicilio mediante soluciones individuales de generación se considera como servicio público

domiciliario de energía eléctrica en ZNI”, y mediante la resolución No. 0276 del 5 de febrero de 2024, ha designado al Ministerio de Igualdad y Equidad como la nueva entidad encargada de dirigir el Fondo para el Desarrollo del Plan Todos Somos PAZcífico (FTSP), en reemplazo de la Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo (UNGRD).

Esta decisión busca fortalecer y ajustar la estructura administrativa y de ejecución del FTSP para generar eficiencias y eficacias en el diseño e implementación de los proyectos a su cargo, así como en la ejecución presupuestal y cumplimiento de su objeto legal, como consecuencia de lo establecido en el párrafo segundo del artículo 291 de la Ley 2294 de 2023, por la cual se expidió el Plan Nacional de Desarrollo 2022-2026 "Colombia Potencia Mundial de la Vida", y que designó al Ministerio de Hacienda y Crédito Público responsable de diseñar y ejecutar "las mejoras a la estructura administrativa, financiera y de gobernanza del Fondo

- Que la Ley 1753 de 2015 en el artículo 185, reglamentado mediante el decreto 2121 de 2015, creó el Fondo para el Desarrollo del Plan Todos Somos PAZcífico – FTSP, como patrimonio autónomo, cuyo objetivo corresponde a la financiación y/o la inversión en las necesidades más urgentes para promover el Desarrollo Integral del Litoral Pacífico colombiano.
- Que el artículo 2.15.2 del Decreto 2121 de 2015, establece que el Fondo para el Desarrollo del Plan Todos Somos PAZcífico – FTSP, tendrá por objeto la financiación y/o la inversión en la zona de influencia del Litoral Pacífico, en proyectos de agua potable, infraestructura, educación y vivienda entre otros, y en general en las necesidades más urgentes para promover el desarrollo integral de dicha zona, la cual está conformada por 50 municipios y distritos en cuatro Departamentos.

- Que el párrafo 1º del artículo 2.15.1 del Decreto 2121 de 2015, el cual modificó la parte 15 del libro 2 del Decreto 1068 de 2015, estableció que el Ministerio de Hacienda y Crédito Público en uso de la facultad otorgada por el artículo 185 de la Ley 1753 de 2015, y para efectos de la operatividad y funcionamiento del Fondo para el Desarrollo del Plan Todos Somos PAZcífico, puede definir mediante resolución, la administración de dicho fondo en: una entidad encargada de la ejecución y ordenación del gasto(entidad ejecutora) y/o en una entidad que conserve y transfiera los recursos, y que actúe como vocera del patrimonio autónomo (entidad fiduciaria).

- Que para el desarrollo de este programa el Ministerio de Hacienda y Crédito Público, mediante Resolución 4060 de 2015, designó a la Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres (UNGRD) como la entidad ejecutora de este “Fondo”. De esta manera, es la UNGRD quien adelantará los procesos de contratación, ejecución y supervisión de las obras, pero no tendrá iniciativa en la presentación de proyectos, viabilización ni destinación de recursos.

- Así mismo, mediante Resolución 4075 del 2015, el Ministerio de Hacienda y Crédito público designó a la Fiduciaria la Previsora como administradora del Fondo para el Desarrollo del Plan Todos Somos PAZcífico, en virtud de la cual le corresponde representar al Fondo y ser su vocera, siendo la entidad responsable de la conservación y transferencia de los recursos y de la celebración de los contratos de obras, bienes y servicios de consultoría, así como de los pagos pertinentes, de acuerdo con los lineamientos que reciba de la UNGRD.

- Que como alternativa para la financiación del “Plan Todos Somos PAZcífico” (PTSP), se han realizado gestiones para contratar empréstitos externos con la banca multilateral hasta por 400 millones de dólares o su equivalente en otras monedas, los cuales tienen como

objetivo obtener los recursos necesarios para el Programa de Inversión, que busca disminuir las brechas entre la franja del Litoral y la Andina del Pacífico colombiano en los siguientes sectores:

I) acueducto y saneamiento básico; II) energización; y III) conectividad en transporte.

el Anexo ciclo de ejecución de la Propuesta de Préstamo BID de septiembre 20 de 2015, indica:

los principales aspectos de la utilización de los Fondos del Plan Todos Somos PAZcífico que serán utilizados para proyectos de electrificación rural. Los procedimientos a seguir para la ejecución de los proyectos del subprograma se establecen de acuerdo a la reglamentación vigente para el ciclo de proyecto de los fondos especiales existentes en el país para ampliar la cobertura eléctrica y para el financiamiento de electrificación rural.

- Que en tal sentido, el 28 de febrero de 2017, se suscribió con el Banco Interamericano de Desarrollo (BID) el préstamo 3610/OC-CO para financiar el costo del programa de agua, saneamiento básico y electrificación para el pacífico colombiano como parte del “plan todos somos PAZcífico”, por valor de US\$ 231.4 millones, con el objetivo de mejorar las condiciones en las que habita la población, desarrollar acciones en agua y saneamiento básico en Quibdó y en Buenaventura, y con acciones en energía en una amplia zona rural en los departamentos del Litoral Pacífico.

- Que específicamente para el sector de energía se ejecutarán USD 91 millones para proyectos de electrificación rural sostenible, estudios de pre inversión y esquemas institucionales, con la meta de beneficiar a aproximadamente 15.500 usuarios en los departamentos de Chocó, Valle del Cauca, Nariño y Cauca.

- Que de conformidad con el literal a) del artículo 4° de la Ley 143 de 1994, corresponde al Estado en relación con el servicio de electricidad, como objetivo en el cumplimiento de sus funciones, entre otras, abastecer la demanda de electricidad de la comunidad bajo criterios económicos y de viabilidad financiera, asegurando su cubrimiento en un marco de uso racional y eficiente de los diferentes recursos energéticos del país.
- Que el artículo 6 de la Ley 143 de 1994, señala que las actividades relacionadas con el servicio de electricidad se rigen, entre otros, por los principios de eficiencia y equidad, definiéndose el primero como aquel que obliga a la correcta asignación y utilización de los recursos de tal forma que se garantice la prestación del servicio al menor costo económico. En cuanto al principio de equidad, el Estado debe propender por alcanzar una cobertura equilibrada y adecuada en los servicios de energía en las diferentes regiones y sectores del país, para garantizar la satisfacción de las necesidades básicas de la población.
- Que la Oficina de Gestión de Proyectos de Fondos de la UPME, como entidad evaluadora de los proyectos que se presentarán al FTSP para acceder a los recursos destinados a financiar proyectos de energización, entregó una guía metodológica para la viabilización de proyectos de energía para el plan todos somos PAZcífico – PTSP Subprograma energización rural sostenible, la cual contiene los requisitos básicos y las recomendaciones para dicho proceso.

Costos Asociados en la adquisición e Instalación de los Paneles Solares

Para estimar los costos de toda la instalación, se deben calcular los costos asociados a la planificación y el desarrollo del proyecto, considerando los recursos humanos y materiales necesarios para llevar a cabo estas tareas.

Esto incluye todas las fases, tales como el transporte de materiales, personal cualificado hasta el sitio de instalación, los costos de los componentes, la mano de obra, la puesta en marcha, y la verificación del correcto funcionamiento del sistema, Este estudio de presupuesto se divide en tres partes fundamentales:

Obra Eléctrica

Incluye la planificación y ejecución de las tareas relacionadas con el mantenimiento y la integración del generador, así como la instalación de transformadores elevadores y reductores, y los sistemas de transferencia con sus correspondientes protecciones. Esta parte abarca todos los aspectos técnicos necesarios para garantizar la correcta operación del sistema eléctrico.

Obra Civil

Se enfoca en el diseño y la construcción de una caseta o cuarto eléctrico, que albergará las baterías, inversores, y demás equipos esenciales. Esta infraestructura es crucial para proteger los componentes del sistema y asegurar su funcionamiento óptimo en condiciones seguras y controladas.

Instalación de Paneles Solares y Estructuras

Comprende la construcción e instalación de los paneles solares y las estructuras de soporte necesarias. Esta fase incluye la selección de los sitios adecuados, el montaje de los paneles, y la conexión del sistema fotovoltaico, asegurando que esté correctamente alineado y funcional para maximizar la captación de energía solar.

Cada una de estas partes se interrelaciona para asegurar que el sistema completo no solo funcione eficientemente, sino que también cumpla con los estándares de seguridad y sostenibilidad a lo largo de su vida útil.

Presupuesto

El presupuesto es una herramienta esencial en la planificación de proyectos de energía solar, ya que permite estimar de forma detallada los recursos financieros necesarios para cada etapa. Para su elaboración, se realiza una identificación completa de los componentes y actividades del sistema, como los paneles solares, inversores, baterías, dispositivos de protección, obras civiles y eléctricas, y los costos de instalación. Las obras civiles y eléctricas incluyen tareas como la construcción de estructuras de soporte, canalización y cableado, además de la instalación de sistemas de seguridad y protección eléctrica. También se consideran los gastos de operación y mantenimiento a largo plazo. Este análisis asegura que el proyecto sea económicamente viable y facilita la evaluación de su sostenibilidad financiera, permitiendo gestionar de manera efectiva posibles fuentes de financiamiento, como fondos del Banco Interamericano de Desarrollo (BID) u otras entidades que apoyan proyectos de energía renovable en comunidades remotas.

Tabla 10 Presupuesto de Instalación de Paneles Solares

PRESUPUESTO DE INSTALACIÓN PANELES SOLARES DE LA VEREDA CHACHAJÓ, Buenaventura.						
1	INSTALACIONES ELÉCTRICAS	UN	CANT	VR UNIT	VR PARCIAL	
1.01	Revisión y Mantenimiento del sistema eléctrico existente					
1.01.01	Mantenimiento infraestructura eléctrica de generación existente para integración al sistema.	GL	1	\$ 5.916.118	\$ 5.916.118	
1.01.02	Desconexión y reconexión del grupo electrógeno.	GL	1	\$ 6.071.275	\$ 6.071.275	
	Suministro e Instalación de Transformadores					
1.01.03	Transformador reductor 400v/220v (75 kVA).	UN	1	\$ 15.892.130	\$ 15.892.130	
1.01.04.	Transformador elevador 400V/13.200V (112,5kVA).	UN	1	\$ 16.162.780	\$ 16.162.780	
	Sistema de Apantallamiento y Caja de Inspección					
1.01.05	Suministro e instalación Cable de cobre desnudo No. 2/0 AWG.	ML	78	\$ 104.007	\$ 8.112.563	
1.01.06	suministro e instalación Punta Captadora Tipo Franklin de 0,6m, para un radio de protección de 35m, incluyendo toda la soporteria que se requiera para fijar dichas Puntas Captadoras.	UN	6	\$ 587.462	\$ 3.524.772	
1.01.07.	Suministro e instalación varillas Cooper Weld de 5/8" x 8' Cobre.	GL	6	\$ 509.196	\$ 3.055.176	
1.01.8	Suministro e instalación conexión soldadura exotérmica entre conductores cruzados y varillas de Cobre.	GL	9	\$ 106.353	\$ 957.179	
1.01.9	Sumistro e Instalación caja de inspección.	UN	3	\$ 294.639	\$ 883.917	
					SUBTOTAL	\$ 60.575.910
	Construcción y/o Adecuación de Obras Civiles					
2	Construcción de Caseta de Operación					
2.01.01	Cerramiento de Tela Verde Poli sombra.	ML	94	\$ 39.609	\$ 3.723.254	
2.01.02	Solado en concreto de 10,3 Mpa.	M3	2,7	\$ 3.395.005	\$ 9.166.514	
2.01.03	Zapatas en concreto de 21MPa, no incluye refuerzo.	M3	16,2	\$ 3.712.045	\$ 60.135.123	
2.01.04	Descapote y limpieza.	M2	54	\$ 12.009	\$ 648.478	
2.01.05	Excavación en material común seco de 0-2m manual.	M2	105	\$ 48.230	\$ 5.064.168	
2.01.06	Suministro y colocación de columna en perfil metálico, incluye anticorrosivo y pintura.	ML	80	\$ 306.948	\$ 24.555.829	
2.01.07	Acero Longitudinal Fy=420MPa.	KG	1040	\$ 6.668	\$ 6.934.928	
2.01.08	Suministro, perforación y soldadura en taller a perlin columna de Platina de anclaje, incluye anticorrosivo y pintura.	UN	12	\$ 276.748	\$ 3.320.978	
2.01.09	Suministro y colocación Pernos de anclaje Acero 1044, incluye tuerca y arandela, anticorrosivo y pintura.	UN	50	\$ 65.204	\$ 3.260.183	
2.01.10	Cubierta en teja Arquitectónica tipo Acesco Cal 30 Pintada.	M2	60	\$ 72.606	\$ 4.356.338	
2.01.11	Muro de cerramiento con una lámina de superboard y costillas de acero, incluye instalación, transporte.	ML	74,04	\$ 169.988	\$ 12.585.884	
2.01.12	Cargue, transporte y desecha de material sobrante.	M3	1	\$ 292.283	\$ 292.283	
2.01.13	Suministro, transporte e instalación puerta metálica lámina cold rolled cal. 18 tipo panel con marco sencillo (incluye anticorrosivo+pintura electrostática + marco cold rolled).	M2	4,84	\$ 505.000	\$ 2.444.200	
2.01.14	Suministro e instalación ducha lavajos de montaje en pared.	UN	1	\$ 2.093.660	\$ 2.093.660	

2.01.15	Suministro e instalación de sistema de ventilación forzada para cuarto de baterías	GL	1	\$ 2.490.490	\$ 2.490.490	
					SUBTOTAL	\$ 140.423.831,85
3	CONSTRUCCIÓN OBRA FOTOVOLTAICA					
3.01.01	Suministro e instalación de paneles solares de 585 Wp c/u	UN	677	\$ 1.378.307	\$ 933.144.164	
3.01.02	Inversor 50.000kW trifásico off grid de inyección a la red.	UN	2	\$ 31.056.692	\$ 62.113.383	
3.01.03	Suministro, instalación y montaje de banco de elementos para baterías con una tensión nominal del banco de 52VDC.	UN	450	\$ 2.991.727	\$ 1.346.276.984	
3.01.04	Suministro, instalación, conexionado cable solar 6 mm2. Paneles solares hasta sus respectivas cajas de combinatorias e inversor, cable tipo solar ZZ-F 1x(2x6 mm2) .	ML	260	\$ 33.783	\$ 8.783.458	
3.01.05	Suministro, instalación, conexionado línea acometida cable THWN (3x8F + 1x10N +1x10T) AWG para 3 fases, neutro y tierra desde los Inversores trifásicos hasta cuadro de protecciones CGP1.	ML	11	\$ 39.554	\$ 435.093	
3.01.06	Suministro, instalación, conexionado línea acometida cable THWN (3x4F + 1x6N +1x8T) AWG para 3 fases, neutro y tierra desde los Inversores hasta el multicluster.	ML	8	\$ 94.828	\$ 758.623	
3.01.07	Suministro, instalación, conexionado línea acometida cable THWN (3x2/0F + 1x1/0N +1x4T) AWG para 3 fases, neutro y tierra desde el grupo electrógeno hasta transformador elevador.	ML	8	\$ 262.793	\$ 2.102.341	
3.01.08	Suministro, instalación, conexionado línea acometida cable THWN (3x4/0F + 1x2/0N +1x2T) AWG para 3 fases, neutro y tierra desde el transformador elevador al multicluster.	ML	28	\$ 367.350	\$ 10.285.804	
3.01.09	Suministro, instalación, conexionado línea acometida cable THWN (3x250F + 1x4/0N +1x2/0T) AWG para 3 fases, neutro y tierra desde el multicluster hasta el transformador salida de carga.	ML	13	\$ 491.812	\$ 6.393.552	
3.01.10	Suministro, instalación, conexionado línea acometida cable THWN (1x8F + 1x10N +1x10T) AWG para 1 fase, neutro y tierra desde los Inversores Cargadores hasta el Multicluster.	ML	60	\$ 27.929	\$ 1.675.721	
3.01.11	Suministro, instalación y montaje de Multicluster 36 kW para generación híbrida	UN	1	\$ 42.339.861	\$ 42.339.861	
3.01.12	Suministro, instalación y montaje de monitoreo y medición	GL	1	\$ 9.262.025	\$ 9.262.025	
3.01.13	Suministro, instalación, conexionado acometida para una tensión de servicio de 52VDC, desde inversores/cargadores hasta banco de baterías, cable de baterías o tipo soldador 2x(1x1/0) AWG	ML	56	\$ 131.124	\$ 7.342.960	
3.01.14	Suministro e instalación de tubería PVC 1 1/4"	ML	244	\$ 31.792	\$ 7.757.353	
3.01.15	Suministro e instalación de tubería PVC 3/4"	ML	5	\$ 20.246	\$ 101.228	
3.01.16	Suministro e instalación de tubería PVC 2"	ML	16	\$ 36.568	\$ 585.086	
3.01.17	Suministro e instalación de tubería PVC 3"	ML	26	\$ 49.857	\$ 1.296.294	
3.01.18	Suministro e instalación bandeja tipo malla con tapa, conformadas en láminas galvanizadas en caliente por 60x200 mm	ML	50	\$ 172.723	\$ 8.636.125	
3.01.19	Suministro e instalación de bases para Baterías	UN	8	\$ 5.056.297	\$ 40.450.378	
3.01.20	Suministro e instalación de caja de protecciones para baterías (CGP2 y CGP3)	UN	4	\$ 3.835.055	\$ 15.340.221	
3.01.21	Suministro e instalación caja de paso 90x90 incluye marco y tapa	UN	8	\$ 1.574.776	\$ 12.598.210	
3.01.22	Suministro e instalación caja general de protecciones CGP1	UN	1	\$ 8.782.427	\$ 8.782.427	
3.01.23	Suministro e instalación de estructura para paneles solares	GL	0,7	\$ 387.986.374	\$ 271.590.462	

3.01.24	Suministro e instalación de salida luminaria LED panel sobreponer rectangular de 40W, 120V para instalaciones internas caseta	UN	3	\$ 355.063	\$ 1.065.189	
3.01.25	Suministro e instalación de salida luminaria LED con batería de emergencia, 120V para instalaciones internas caseta	UN	1	\$ 241.881	\$ 241.881	
3.01.26	Suministro e instalación de salida para interruptor de alumbrado sencillo para instalaciones internas caseta	UN	1	\$ 131.964	\$ 131.964	
3.01.27	Suministro e instalación de salida tomacorrientes para instalaciones internas caseta	UN	6	\$ 147.882	\$ 887.293	
3.01.28	Suministro e instalación de caja de distribución con interruptores para instalaciones internas caseta	UN	1	\$ 381.896	\$ 381.896	
3.01.29	Suministro e instalación de tubería PVC 1/2" para instalaciones internas caseta	ML	39	\$ 10.668	\$ 416.049	
3.01.30	Suministro e instalación de tubería PVC 1 1/4" para instalaciones internas caseta	ML	1	\$ 27.607	\$ 27.607	
3.01.31	Suministro e instalación cableado 1#12F + 1#12N + 1#12T para instalaciones internas caseta	ML	47	\$ 76.725	\$ 3.606.066	
3.01.32	Suministro e instalación cableado 3#8F + 1#10N + 1#10T para instalaciones internas caseta	ML	3	\$ 47.413	\$ 142.238	
					SUBTOTAL	2.804.921.936,63
TOTAL, COSTOS DIRECTOS						\$ 3.005.921.679
VALOR COSTO INDIRECTO						\$ 802.281.646,16
	Administración	%			14,8%	\$ 475.990.297
	Utilidad	%			6,7%	\$ 214.195.633
	Imprevisto	%			2,2%	\$ 71.398.544
VALOR IVA 19% SOBRE UTILIDAD					%	19,00% \$ 40.697.170
VALOR TOTAL ESTIMADO						\$4'019.217.876

Nota. La tabla 10 muestra los costos de precios unitarios de cada uno de los trabajos que se requieren.

Costos de Mantenimiento a lo Largo de la Vida Útil del Sistema.

Para estimar los costos de mantenimiento a lo largo de la vida útil del sistema, se ha llegado a un acuerdo innovador y beneficioso con la comunidad indígena local, que asegura un enfoque inclusivo y participativo. En este acuerdo, se ha decidido que la comunidad seleccionará a dos jóvenes de su grupo para recibir capacitación especializada en electricidad en el SENA. Esta formación les permitirá encargarse del mantenimiento y administración del proyecto una

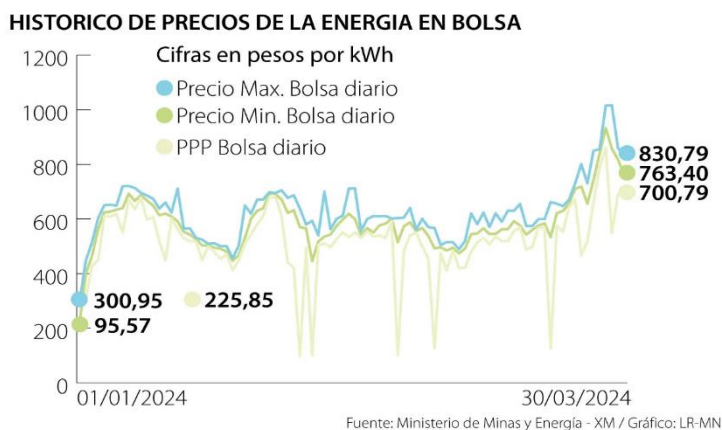
vez que esté instalado. Este enfoque no solo fomenta la autosuficiencia y el desarrollo de habilidades dentro de la comunidad, sino que también ayuda a reducir los costos de mantenimiento a largo plazo.

Además, como parte del compromiso de inclusión, la comunidad se involucrará activamente en la construcción del proyecto, con la mano de obra proveniente de la vereda. Este acuerdo asegura una participación directa y significativa de la comunidad en todas las etapas del proyecto, desde la construcción hasta el mantenimiento continuo. La capacitación local garantiza una respuesta rápida y eficiente a cualquier problema técnico que pueda surgir, minimizando los tiempos de inactividad y optimizando el rendimiento del sistema.

También cabe destacar que los equipos cuentan con una garantía de ocho años, lo que proporciona una cobertura significativa durante los primeros años de operación. Esta garantía permite que muchos de los costos de mantenimiento potenciales estén cubiertos durante este periodo, reduciendo así la carga financiera sobre la comunidad y asegurando que el sistema opere de manera eficiente y continua. En resumen, esta colaboración con la comunidad indígena no solo estimula el empoderamiento local, sino que también establece una base sólida para un mantenimiento sostenible y rentable del sistema a lo largo de su vida útil.

Evaluación de los Costos de Inversión Inicial y Ahorros en Facturas de Energía.

un análisis detallado de los precios de la energía en el mercado bursátil durante el año 2024. Este periodo ha estado marcado por fluctuaciones en los costos debido a factores como la variabilidad en la demanda, las condiciones climáticas y las políticas energéticas. El estudio de estos precios proporciona una visión integral de las tendencias y permite una mejor comprensión del comportamiento del mercado energético en un contexto global.

Figura 22*Precios de la Energía en la Bolsa Durante el Año 2024*

Nota. Precios de la energía en el primer trimestre del año 2024. Tomado de precios de la energía en bolsa 2024[Grafica de Referencia], 2024,minenergia. www.minenergia.gov.co

Para evaluar los costos de inversión inicial y los ahorros en facturas de energía de este proyecto, consideramos varios factores clave. El consumo energético requerido a 12 años es de 792 kWh diarios, la producción del campo solar en energía al día es de 792 kWh diarios, con un precio por kilovatio-hora, es de: 763,4 COP. Este precio implica un costo diario de energía de:

$$\text{Costo diario de energía} \quad \text{Costo} = \text{produccion energia paneles} * \text{precio kilovatio hora} \quad (\text{Ecuación 27})$$

$$\text{Costo} = \text{produccion energia paneles} * \text{precio kilovatio hora} \quad (\text{ecuacion 27})$$

$$\text{Costo} = \frac{792 \text{ kWh}}{\text{dia}} * 763,4 \frac{\text{COP}}{\text{kWh}} = 604.632,8 \text{ COP/dia}$$

En términos anuales, el costo de la energía sería: $604.632,8 \frac{\text{COP}}{\text{dia}} * 365 \frac{\text{dias}}{\text{año}} = \$220.690.972,00 \text{ COP/año}$

El costo del proyecto fotovoltaico es de \$ 4.019.217.876,02 COP, el cual generará 792 kWh diarios. Esta generación excede el consumo diario actual, asegurando que la instalación del parque fotovoltaico puede cubrir completamente las necesidades energéticas diarias y aún dejar un excedente de energía.

Al cubrir el consumo diario de 792 kWh (en el futuro a 12 años) con la generación de energía solar, los costos de energía se reducirán drásticamente, potencialmente eliminando la factura de energía eléctrica, si se cobrara el consumo. Esto resulta en un ahorro anual de \$222.912.800,00 COP/año.

Es importante destacar que la implementación de paneles solares en esta comunidad no se orienta hacia la generación de ingresos monetarios, sino que se enfoca en el bienestar social. El objetivo principal no es obtener ganancias económicas, sino proporcionar beneficios sociales que mejoren la calidad de vida de los habitantes.

Para calcular el tiempo de recuperación de la inversión (ROI), se divide el costo total del proyecto por los ahorros anuales en energía:

$$\text{Recuperación de inversión} \quad ROI = \frac{\text{costo del proyecto}}{\text{ahorro anual}} \quad (\text{Ecuación 28})$$

$$ROI = \frac{4.019.217.876,5 \text{ COP}}{\$222.912.800,6 \text{ COP/año}} =$$

Este análisis muestra que, aunque la inversión inicial es significativa, los ahorros anuales en facturas de energía permiten recuperar la inversión en aproximadamente 18,03 años.

La proyección de vida de estos sistemas de paneles solares es de 30 años, está dentro del periodo o rango de tiempo, Además, cualquier incremento futuro en los precios de la energía aumentará estos ahorros, reduciendo aún más el período de recuperación y aumentando la rentabilidad del proyecto a largo plazo. La capacidad del parque fotovoltaico para generar más energía de la necesaria también ofrece la posibilidad de vender el excedente, generando ingresos adicionales y mejorando aún más la viabilidad económica del proyecto.

Cabe recordar que el excedente de energía generado por el sistema podría venderse e integrarse a la zona de interconexión. Esta posibilidad no solo optimiza el aprovechamiento de la energía producida, sino que también podría representar una fuente adicional de ingresos, contribuyendo aún más a la sostenibilidad económica del proyecto y beneficiando a la comunidad local.

Es importante destacar que este proyecto no solo tiene una dimensión económica, sino también una significativa dimensión social. El acuerdo con la comunidad indígena local, que incluye la capacitación de dos jóvenes de la comunidad en electricidad en el SENA y la participación de la comunidad en la construcción del proyecto, refuerza su carácter inclusivo y participativo. Este enfoque no solo empodera a la comunidad local y fomenta el desarrollo de habilidades, sino que también asegura un mantenimiento sostenible y eficiente del sistema a lo largo de su vida útil. La integración de la comunidad en todas las fases del proyecto, desde la construcción hasta el mantenimiento, subraya el compromiso de hacer de este un proyecto socialmente responsable y beneficioso para todos los involucrados.

Conclusiones

El estudio de factibilidad para la implementación de un sistema fotovoltaico en la comunidad de Chachajo permitió determinar que, debido a un crecimiento poblacional proyectado del 6.3% anual, la demanda energética aumentará de 3.768 kWh/día a 22.194 kWh/día en los próximos 12 años. Sin embargo, al considerar las pérdidas del sistema y el rendimiento real de los equipos, se determinó que el consumo energético real por vivienda será de 4 kWh/día, lo que lleva a un requerimiento total de 720 kWh/día para las 180 viviendas proyectadas.

Para garantizar la autosuficiencia del sistema, se aplicó un sobredimensionamiento del 10%, resultando en una capacidad de generación de 792 kWh/día. Para suplir esta demanda de manera eficiente y sostenible, se concluyó que un sistema off-grid con almacenamiento en baterías de litio y respaldo con generador diésel es la mejor opción, garantizando un suministro continuo y autónomo. A pesar de la baja radiación solar característica de la región Pacífica, la combinación de paneles solares con almacenamiento en baterías permitirá optimizar la captación de energía y asegurar la disponibilidad eléctrica en todo momento.

El presupuesto total del proyecto de implementación de paneles solares en la vereda Chachajo, Buenaventura, asciende a \$4.019.217.876, desglosado en costos directos e indirectos de la siguiente forma. Los costos directos, que suman \$3.216.936.230, incluyen la obra eléctrica, la obra civil para la construcción del cuarto eléctrico, y la instalación de paneles solares y estructuras. Y los costos indirectos destinados para la administración, imprevistos y utilidad que asciende a \$802.281.646.

Referencias Bibliográficas

- (N.d.-a). Gov.Co. Retrieved March 13, 2025, from <https://archivo.minambiente.gov.co/images/AsuntosambientalesySectorialyUrbana/pdf/Guia-ambiental-y-social-para-proyectos-de-generacion-fotovoltaicos-e-hibridos-menores-o-iguales-a-1-MW.pdf>
- (N.d.-b). Gov.Co. Retrieved March 13, 2025, from https://www1.upme.gov.co/fondos-apoyo-financiero/Documents/Guia_pazcifico/Guia_presentacion_proyectos_FTSP_sep_13_2024.pdf
- (N.d.-c). Gov.Co. Retrieved March 13, 2025, from <https://proyectostipo.dnp.gov.co/images/pdf/Celdas/ptceldas.pdf>
- (S/f-a). Gov.co. Recuperado el 21 de agosto de 2024, de http://www.upme.gov.co/Docs/Atlas_Radiacion_Solar/1-Atlas_Radiacion_Solar.pdf
- (S/f-b). Gov.co. Recuperado el 21 de agosto de 2024, de https://www1.upme.gov.co/DemandayEficiencia/Documents/Informe_proyeccion_demanda_energeticos.pdf
- (S/f-c). Policycommons.net. Recuperado el 21 de agosto de 2024, de <https://policycommons.net/artifacts/812804/infraestructura-para-el-desarrollo-vol-4-no-3/1686181/>
- (S/f-d). Edu.co. Recuperado el 21 de agosto de 2024, de <https://repository.universidadean.edu.co/bitstream/handle/10882/10666/GuayazanTania2021.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- de Buenaventura, A. D. (s/f). *Anuario Estadístico 2014 - 2018*. Gov.co. Recuperado el 21 de agosto de 2024, de <https://www.buenaventura.gov.co/articulos/anuario-estadistico-2014-2018>

- de Guevara, A. J. A. L. (s/f). *DISEÑO Y CÁLCULO DE UNA INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA AISLADA*. Upm.es. Recuperado el 21 de agosto de 2024, de https://oa.upm.es/52204/1/PFC_JORGE_ALVARADO_LADRON_DE_GUEVARA.pdf
- de la Ciencia, N. (2020, febrero 7). *¿Cómo se diferencian los paneles fotovoltaicos de los térmicos?* Noticias de la Ciencia. <https://noticiasdelaciencia.com/art/36622/como-se-diferencian-los-paneles-fotovoltaicos-de-los-termicos>
- Estrada Martínez, L. C., & Muñoz Fuentes, A. J. (2017). *Proyecto para la gestión de paneles solares en la vereda la Esperanza del municipio de Convención, Norte de Santander, Colombia*. <https://repository.unad.edu.co/handle/10596/12108>
- Galviz Garzón, J. S., & Gutiérrez Gallego, R. (2014). *Proyecto para la implementación de un sistema de generación solar fotovoltaico para la población Wayuu en Nazareth corregimiento del municipio de Uribía, departamento de la Guajira, Colombia*. Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD.
- Iniciar Sesión*. (s/f). Elibro.net. Recuperado el 21 de agosto de 2024, de <https://elibro.net/es/ereader/unad/43075>
- Kennedy, R. (2023, marzo 2). *Guía para entender las pérdidas en la producción solar*. pv magazine España. <https://www.pv-magazine.es/2023/03/02/guia-para-entender-las-perdidas-en-la-produccion-solar/>
- Kit Solar*. (s/f). Autosolar.co. Recuperado el 21 de agosto de 2024, de https://autosolar.co/kits-solares?gad_source=1&gclid=CjwKCAjwoJa2BhBPEiwA0l0ImHbsq9n8N_OId-QPACmxD9lmUae6yQW-jcFGsQ2I0qP6juDGyzIq4RoCwJAQAvD_BwE&gclsrc=aw.ds

La Ciudad, E. D. E. C. –. B. S. L. A. I. D. E. P. S. E. N. P. D. E. C. E. N. (s/f). *TRABAJO DE GRADO*. Edu.co. Recuperado el 21 de agosto de 2024, de <https://repository.ucatolica.edu.co/server/api/core/bitstreams/43157dd7-3c4d-4817-b3c1-f1d763845042/content>

Mata, R. (2023, enero 13). *Paneles solares híbridos: guía completa para entender su funcionamiento y beneficios*. Efitherma. <https://efitherma.com/es/paneles-solares-hibridos-guia-completa-para-entender-su-funcionamiento-y-beneficios/>

Pareja, M. P. (2009). *Energía solar fotovoltaica: Cálculo de una instalación aislada: Colección Nuevas Energías*. Marcombo.

Ramírez Castaño, S. (2009). *Redes de distribución de energía*. Universidad Nacional de Colombia.

Tipos de paneles solares y cómo funciona cada uno. (2023, septiembre 11). REPSOL. <https://www.repsol.com/es/energia-futuro/futuro-planeta/tipos-de-placas-solares/index.cshtml>

UNIDO. (s/f). *Unido.org*. Recuperado el 21 de agosto de 2024, de <https://www.unido.org/>

Apéndices

Apéndice A

Panel Solar

www.jinkosolar.com



Tiger Neo N-type 72HL4-(V) 570-590 Watt MONO-FACIAL MODULE

N-Type

Positive power tolerance of 0~+3%

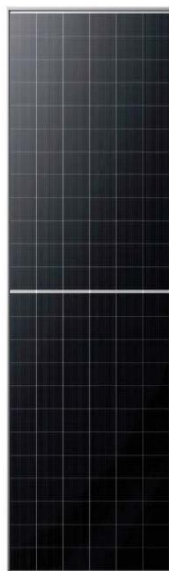
IEC61215(2016), IEC61730(2016)

ISO9001:2015: Quality Management System

ISO14001:2015: Environment Management System

ISO45001:2018

Occupational health and safety management systems



Key Features



SMBB Technology

Better light trapping and current collection to improve module power output and reliability.



Hot 2.0 Technology

The N-type module with Hot 2.0 technology has better reliability and lower LID/LETID.



PID Resistance

Excellent Anti-PID performance guarantee via optimized mass-production process and materials control.



Enhanced Mechanical Load

Certified to withstand: wind load (2400 Pascal) and snow load (5400 Pascal).

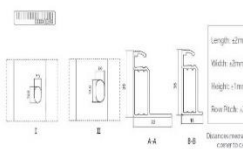
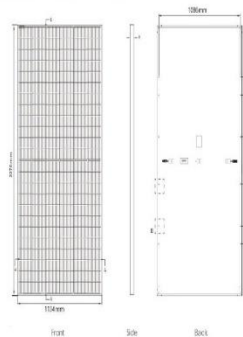


Durability Against Extreme Environmental Conditions

High salt mist and ammonia resistance.



Engineering Drawings



For detailed view and dimension specification, please consult detailed module drawing.

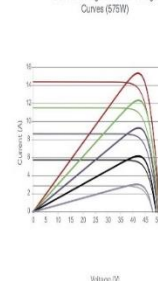
Packaging Configuration

(Two pallets = One stack)

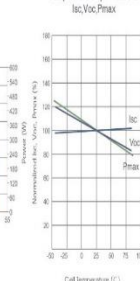
31pcs/pallets, 62pcs/stack, 820pcs/40HQ Container

Electrical Performance & Temperature Dependence

Current-Voltage & Power-Voltage Curves (STC)



Temperature Dependence of Isc, Voc, Pmax



Mechanical Characteristics

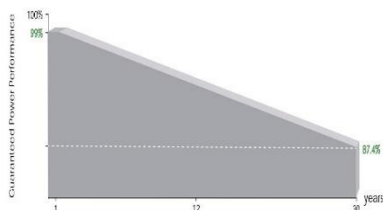
Cell Type	N Type Mono-crystalline
No. of cells	144 (6x24)
Dimensions	2278x1134x35mm (88.89x44.65x1.38 inch)
Weight	27 kg (59.52 lb)
Front Glass	3.2mm Anti-Reflection Coating, High Transmission, Low Iron, Tempered Glass
Frame	Anodized Aluminum Alloy
Junction Box	IP68 Rated
Output Cables	10V 1x4.0mm (-): 400mm, (+): 200mm or Customised Length

SPECIFICATIONS

Module Type	JKM 570 N-72 HL4		JKM570N-72HL4-V		JKM580N-72HL4		JKM580N-72HL4-V		JKM590N-72HL4		JKM590N-72HL4-V	
	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT
Maximum Power (Pmax)	570Wp	430Wp	515Wp	433Wp	580Wp	437Wp	585Wp	441Wp	590Wp	445Wp		
Maximum Power Voltage (Vmp)	42.98V	40.37V	43.11V	40.54V	43.35V	40.70V	43.53V	40.86V	43.71V	41.05V		
Maximum Power Current (Imp)	13.28A	10.64A	13.32A	10.69A	13.38A	10.74A	13.44A	10.79A	13.50A	10.83A		
Open-circuit Voltage (Voc)	51.99V	39.51V	52.15V	39.63V	52.31V	39.76V	52.47V	39.88V	52.63V	40.00V		
Short-circuit Current (Isc)	13.87A	11.21A	13.95A	11.26A	14.01A	11.31A	14.07A	11.36A	14.13A	11.41A		
Module Efficiency STC (%)	22.07%		22.26%		22.45%		22.65%		22.84%			
Operating Temperature(°C)	-40°C~+85°C											
Maximum system voltage	1000/1500VDC (IEC)											
Maximum series fuse rating	25A											
Power tolerance	0~+3%											
Temperature coefficients of Pmax	-0.29%/°C											
Temperature coefficients of Voc	-0.25%/°C											
Temperature coefficients of Isc	0.045%/°C											
Normal operating cell temperature (NOCT)	45±2°C											

STC: ☀️ Irradiance 1000W/m² 📱 Cell Temperature 25°C 🌡️ AM-1.5
 NOCT: ☀️ Irradiance 800W/m² 📱 Ambient Temperature 20°C 🌡️ AM-1.5 🌀 Wind Speed 1m/s

LINEAR PERFORMANCE WARRANTY



12 Year Product Warranty

30 Year Linear Power Warranty

0.40% Annual Degradation Over 30 years

©2023 Jinko Solar Co., Ltd. All rights reserved.
 Specifications included in this datasheet are subject to change without notice. JKMS70-590N-72HL4-(V)-F5-EN

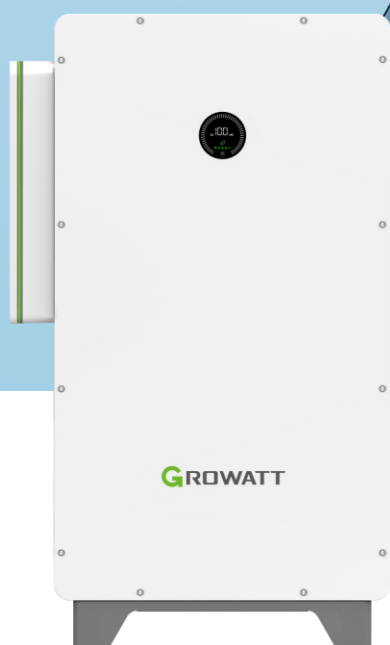
Apéndice B

Invertor Híbrido

WIT 50-100kW Hybrid Inverter

(WIT 50-100K-H, WIT 50-100K-HU)

- Scalable system configuration, extend to 300kW
- Support UPS function and black start
- 100% unbalanced load when backup
- 110% continuous AC overloading capacity
- Support remote control of DG
- Multiple MPPTs input
- Grid-support functions



Datasheet	WIT 50K-H WIT 50K-HU	WIT 63K-H WIT 63K-HU	WIT 75K-H WIT 75K-HU	WIT 100K-H WIT 100K-HU
Input Data (PV)				
Max. recommended PV power (for module STC)	109.2kW	124.8kW	156kW	156kW
Start voltage			195V	
Nominal voltage			550V	
Max. Input Voltage			1100V	
MPP voltage range			180V-800V	
Max. input current per MPP tracker			32A	
Max. short-circuit current per MPP tracker			40A	
No. of PV strings per MPP tracker			2	
No. of MPP trackers	7	8	10	10
Output Data (AC)				
AC nominal power	50kW	63kW	75kW	100kW
Max. AC apparent power	55KVA	69.3KVA	82.5KVA	110KVA
Nominal AC voltage			380/400/415V	
AC voltage range			-15%--+10%	
AC grid frequency			50/60 Hz	
AC grid frequency/range			45-55Hz/55-65Hz	
Max. output current	83.3A@380V 79.7A@400V	105A@380V 100.4A@400V	125A@380V 119.6A@400V	166.7@380V 159.4A@400V
Adjustable power factor			-1...+1	
THDi			<3%	
AC grid connection type			3P3W+PE/3P4W+PE	
Battery Data (DC)				
Continuous charging and discharging power	56.7KW	71.4KW	85.1KW	113.5KW
Battery voltage range		600-1000V (for 3P3W) / 680-1000V (for 3P4W)		
Recommended battery voltage		768V		
Max charging and discharging current	83.3A	105A	125A	167A
BMS communication		RS485/CAN		
Backup Power (AC)*				
Rated AC output power	50KW	63KW	75KW	100KW
Max. AC apparent power	60KVA	75.6KVA	90KVA	120KVA
Rated AC output voltage		220V/230V/240V(L-N) 380V/400V/415V(L-L)		
Nominal AC output frequency		50/60 Hz		
Load connection		3W+N+PE		
Max. output current	90.9A	114.5A	136.4A	181.8A
THDv		<3% (Linear load)		
Load unbalance		100% three-phase unbalanced		
Overload capacity		≤110% : Continues; 110%~120% : <1min; >120% : 200ms		
On/off grid transfer time		20ms		
Efficiency				
Max. efficiency		98.2%		
Protection Devices				
PV reverse polarity protection		Yes		
Battery reverse protection		Yes		
AC/DC surge protection		Type II		
Insulation resistance monitoring		Yes		
Ground fault monitoring		Yes		
Grid monitoring		Yes		
Residual-current monitoring unit		Yes		
AC short-circuit protection		Yes		
Strings monitoring		Yes		
Anti-islanding protection		Yes		
PID protection		Yes		
AFCl function		Opt		
General				
EN 62920-2017, IEC/EN62477-1, IEC/EN62109-1, IEC/EN62109-2, IEC62116, IEC61727, G99:2020, EN50549-1, VDE 4105, VDE 0124, NRS 097-2-1				

Apéndice C

Batería



WECO DUAL VOLTAGE 5K3-XP



HIGH VOLTAGE STACKABLE



Battery Module	4	5	6	7	8	8+8
Battery System Capacity (kWh)	20,8	26	31,2	36,4	41,6	83,2
Recommended Voltage (V)	min 200 max 232	min 250 max 290	min 300 max 348	min 350 max 406	min 400 max 464	min 800 max 928
Dimensions (mm)	580x463x690	580x463x825	580x463x990	580x463x1155	580x463x1320	(2x) 580x463x1320
Weight (kg)	229,2	286,5	343,8	401,1	458,4	2x 458,4
Depth of Discharge	100%					
Charge/Discharge (A)	100 / 100					
Communication	RS485, CAN, 232, Wifi					
Discharge Temperature (°C)	-20 ~ +60**					
Charge Temperature (°C)	-10 ~ +55					
Storage Temperature (°C)	-10 ~ +40**					
Humidity	5% ~ 95% no condensation Indoor Application Only					
Altitude (m)	< 3000					
Design life	10 Years (25°C)					
Expected Life Cycles @ STC**	> 8000 (25°C/80%DoD>75% residual capacity)					
Standards	IEC62619/UL1973 / CE / UN38.3					

*. Module net usable energy is managed by the BMS control logic set to 100Ah
 **. See Warranty Terms and the Standard Test Conditions "STC" and the operative temperature
 ***. HV/ BX is compulsory when the 5K3XP is used in HV configuration



WeCo WiFi Monitoring and Bluetooth Set Up APP



CERTIFICATIONS



WeCo Srl Italia - Firenze - weco@wecobatteries.com - www.wecobatteries.com

Apéndice D

Código de Matlab

```

% UNAD_ECBTI-2025

% Ing. Alvaro Mosquera Ortiz e Ing. Richard Alexander Rivas Arboleda

opcion = input('Ingresa el tipo de consumo de energía: \n1. Por mes\n2. Por día\nElige una opción (1 o 2): ');

% Inicializar variables

energia_mes = 0;

energia_dia = 0;

% Procesar la opción seleccionada por el usuario

if opcion == 1

    energia_mes = input('Ingresa el consumo de energía mensual en kWh: ');

    energia_dia = energia_mes / 30; % Convertir a consumo diario

elseif opcion == 2

    energia_dia = input('Ingresa el consumo de energía diario en kWh: ');

else

    error('Opción no válida. Debes seleccionar 1 o 2.');
```

end

```

% Calcular la potencia diaria y la potencia horaria

potencia_diaria = energia_dia;

potencia_horaria = energia_dia / 24;

% Mostrar los resultados

fprintf('Consumo de energía diario: %.2f kWh\n', potencia_diaria);

fprintf('Potencia horaria: %.2f kW\n', potencia_horaria);

% Solicitar el número de años a proyectar a futuro

num_anos = input('Ingresa el número de años a proyectar a futuro: ');

% Solicitar el porcentaje de crecimiento anual

porcentaje_crecimiento = input('Ingresa el porcentaje de crecimiento anual (%): ');

% Solicitar el número de viviendas en el futuro

num_viviendas_futuro = input('Ingresa el número de viviendas en el futuro: ');

% Convertir el porcentaje de crecimiento a un valor decimal

CAGR = porcentaje_crecimiento / 100;

% Calcular la potencia futura usando la fórmula de crecimiento compuesto

potencia_futura = potencia_horaria * (1 + CAGR) ^ num_anos;
```

```

% Calcular el consumo diario a futuro
consumo_diario_a_futuro = potencia_futura * 24;

% Calcular la potencia demandada en el futuro multiplicando por el número de viviendas
potencia_demandada_futuro = potencia_futura * num_viviendas_futuro;

% Mostrar los resultados
fprintf ('Potencia horaria en %d años: %.4f kW\n', num_anos, potencia_futura);

fprintf ('Potencia demandada en %d años para %d viviendas: %.4f kW\n', num_anos, num_viviendas_futuro,
potencia_demandada_futuro);

fprintf ('Consumo de energía en el futuro en %d años: %.4f kWh\n', num_anos, consumo_diario_a_futuro);

% Solicitar los coeficientes para el cálculo del rendimiento
Kb = input ('Ingresa el coeficiente de pérdidas por rendimiento del acumulador (Kb): ');
Kc = input ('Ingresa el coeficiente de pérdidas en el convertidor (Kc): ');
Kv = input ('Ingresa el coeficiente de pérdidas varias (Kv): ');
Ka = input ('Ingresa el coeficiente de auto descarga diaria (Ka): ');

% Solicitar días de autonomía y profundidad de descarga
N = input ('Ingresa los días de autonomía (N): ');
Pd = input ('Ingresa la profundidad de descarga (Pd): ');

% Calcular el rendimiento global del sistema (R)
R = (1 - Kb - Kc - Kv) * (1 - (Ka * N) / Pd);

% Mostrar el rendimiento
fprintf ('Rendimiento del sistema: %.4f\n', R);

% Calcular el consumo energético real respecto al rendimiento
consumo_real = consumo_diario_a_futuro / R;

% Aplicar la lógica de redondeo personalizada SOLO al consumo real respecto al rendimiento
if consumo_real <= 0.5
    consumo_real = 0;
elseif consumo_real > 5
    consumo_real = 1;
else
    consumo_real = round(consumo_real);
end

% Mostrar el consumo real
fprintf ('Consumo real respecto al rendimiento: %d kWh\n', consumo_real);

% Calcular el consumo real respecto al número de viviendas

```

```

consumo_real_viviendas = consumo_real * num_viviendas_futuro;
% Mostrar el consumo real respecto al número de viviendas
fprintf ('Consumo real respecto al número de viviendas: %.4f kWh\n', consumo_real_viviendas);
% Solicitar el porcentaje de sobredimensionamiento del sistema
porcentaje_sobredimensionamiento = input ('Ingresa el porcentaje de sobredimensionamiento del sistema (%): ');
% Convertir el porcentaje de sobredimensionamiento a un valor decimal
factor_sobredimensionamiento = porcentaje_sobredimensionamiento / 100;
% Calcular el consumo final con sobredimensionamiento (sin redondeo especial)
consumo_final = consumo_real_viviendas * (1 + factor_sobredimensionamiento);
% Mostrar el consumo final
fprintf ('Consumo final con sobredimensionamiento: %.4f kWh\n', consumo_final);
% Solicitar el número de horas sol pico (HSP)
HSP = input ('Ingresa el número de horas sol pico (HSP): ');
% Solicitar las características del panel solar
potencia_panel = input ('Ingresa la potencia del panel solar (Wp): ');
Vmp = input ('Ingresa el voltaje máximo del panel solar (Vmp): ');
Imp = input ('Ingresa la corriente máxima del panel solar (Imp): ');
Voc = input ('Ingresa el voltaje de circuito abierto del panel solar (Voc): ');
Isc = input ('Ingresa la corriente de cortocircuito del panel solar (Isc): ');
% Mostrar las características del panel solar
fprintf ('Características del panel solar:\n');
fprintf ('Potencia del panel: %.2f Wp\n', potencia_panel);
fprintf ('Voltaje máximo (Vmp): %.2f V\n', Vmp);
fprintf ('Corriente máxima (Imp): %.2f A\n', Imp);
fprintf ('Voltaje de circuito abierto (Voc): %.2f V\n', Voc);
fprintf ('Corriente de cortocircuito (Isc): %.2f A\n', Isc);
% Solicitar el rendimiento del generador fotovoltaico
ng = input ('Ingresa el rendimiento del generador fotovoltaico (ng) entre 0.8 y 0.9: ');
% Validar que el valor ingresado esté dentro del rango permitido
while ng < 0.8 || ng > 0.9 fprintf ('Valor no válido. Ingresa un valor entre 0.8 y 0.9.\n');
ng = input ('Ingresa el rendimiento del generador fotovoltaico (ng) entre 0.8 y 0.9: '); end
% Calcular la potencia nominal (Pn) del generador fotovoltaico

```

```

Pn = consumo_final / (HSP * ng);
% Mostrar la potencia nominal del generador fotovoltaico
fprintf ('Potencia nominal del generador fotovoltaico: %.2f kW\n', Pn);
% Calcular la energía producida por un panel solar
energia_panel = (potencia_panel / 1000) * HSP; % Convertir Wp a kWp y multiplicar por HSP
% Mostrar la energía producida por un panel solar
fprintf ('Energía producida por un panel solar: %.2f kWh\n', energia_panel);
% Calcular el número de paneles necesarios
num_paneles = consumo_final / energia_panel;
% Mostrar el número de paneles necesarios
fprintf ('Número de paneles necesarios: %.0f\n', ceil(num_paneles));
% Calcular la potencia pico instalada
potencia_pico_instalada = num_paneles * potencia_panel;
% Mostrar la potencia pico instalada
fprintf ('Potencia pico instalada: %.2f kWp\n', potencia_pico_instalada / 1000); % Convertir Wp a kWp
% Solicitar los datos del inversor
potencia_max_entrada_dc = input ('Ingresa la Potencia Máxima de Entrada en DC del inversor (W): ');
voltaje_max_entrada_dc = input ('Ingresa el Voltaje Máximo de Entrada en DC del inversor (V): ');
voltaje_inicio = input ('Ingresa el Voltaje de inicio (V) del inversor: ');
rango_voltaje_mppt_min = input ('Ingresa el Voltaje Mínimo del Rango de Voltaje MPPT (V) del inversor: ');
rango_voltaje_mppt_max = input ('Ingresa el Voltaje Máximo del Rango de Voltaje MPPT (V) del inversor: ');
corriente_entrada_pv = input ('Ingresa la Corriente de Entrada de PV (A) del inversor: ');
num_entradas_mppt = input ('Ingresa el Número de entradas MPPT: ');
num_cadenas_por_string = input ('Ingresa el Número de cadenas por String: ');
% Solicitar los datos de entrada del inversor para la batería
tipo_bateria = input ('Ingresa el tipo de batería: ', 's');
rango_voltaje_bateria_min = input ('Ingresa el rango mínimo de voltaje de la batería (V) del inversor: ');
rango_voltaje_bateria_max = input ('Ingresa el rango máximo de voltaje de la batería (V) del inversor: ');
max_corriente_carga = input ('Ingresa la máxima corriente de carga (A) del inversor: ');
max_corriente_descarga = input ('Ingresa la máxima corriente de descarga (A) del inversor: ');
num_entradas_baterias = input ('Ingresa el número de entradas de baterías en el inversor: ');
% Mostrar los datos de la batería

```

```

fprintf ('Datos de la batería: \n');
fprintf ('Tipo de Batería: %s\n', tipo_bateria);
fprintf ('Rango de voltaje: %.2f V - %.2f V\n', rango_voltaje_bateria_min, rango_voltaje_bateria_max);
fprintf ('Máxima Corriente de Carga: %.2f A\n', max_corriente_carga);
fprintf ('Máxima Corriente de Descarga: %.2f A\n', max_corriente_descarga);
fprintf ('Número de Entradas de Baterías: %d\n', num_entradas_baterias);
% Solicitar el voltaje nominal de la batería
voltaje_nominal_bateria = input ('Ingresa el voltaje nominal de la batería (V): ');
bateria_serie= rango_voltaje_bateria_min/voltaje_nominal_bateria;
fprintf ('Número de baterías en serie: %.2f\n', bateria_serie);
Voltaje_entrada_bateria= bateria_serie* voltaje_nominal_bateria;
fprintf ('Voltaje de entrada de la batería: %.2f V\n', Voltaje_entrada_bateria);
Vn= input ('Ingresa el arreglo de voltaje de la bateria de fabrica (Vn): ');
% Calcular la capacidad del acumulador (Cu)
Cu = (consumo_final*N) /Vn;
% Solicitar la temperatura promedio de operación
T_op = input ('Ingresa la temperatura promedio de operación (°C): ');
% Inicializar variables
T_ref = 25; % Temperatura de referencia
Pd = 0.8; % Profundidad de descarga
% Calcular la diferencia de temperatura
delta_T = T_op - T_ref;
% Calcular el factor de corrección por temperatura
Kt = 1 - (delta_T / 160);
% Calcular la capacidad de acumulación (C)
C = Cu / (Pd * Kt);
A_baterias=input ('Ingresa el amperaje del arreglo baterias (A): ');
B= C/ A_baterias;
% Mostrar los resultados
fprintf ('Factor de corrección por temperatura (Kt): %.2f\n', Kt);
fprintf ('Capacidad del acumulador (Cu): %.2f Ah\n', Cu);
fprintf ('Capacidad de acumulación (C): %.2f Ah\n', C);

```

```

fprintf('Amperaje del arreglo de Baterias (A_baterias): %.2f Ah\n', A_baterias);
fprintf('Cantidad de baterias necesarias (redondeada): %d\n', B);
% Calcular el número máximo y mínimo de paneles por MPPT
% Calcular el número máximo y mínimo de paneles por MPPT
max_paneles_mppt = floor (rango_voltaje_mppt_max / Voc);
min_paneles_mppt = ceil (rango_voltaje_mppt_min / Vmp);
fprintf ('Máximo de paneles conectados por MPPT: %d\n', max_paneles_mppt);
fprintf ('Mínimo de paneles conectados por MPPT: %d\n', min_paneles_mppt);
% Configuración de los paneles y cantidad de inversores
total_strings = num_entradas_mppt * num_cadenas_por_string;
% Total de paneles por inversor
paneles_por_inversor = total_strings * max_paneles_mppt;
% Calcular la corriente soportada por cada string y el número de strings en paralelo
I_x = floor (corriente_entrada_pv / Imp);
paneles_por_string = max_paneles_mppt * I_x; % considerando el paralelo
Mpc = rango_voltaje_mppt_max / Voc;
P_s = total_strings * Mpc * I_x;
% Imprimir el número de paneles soportados por el inversor
fprintf ('Paneles soportados por el inversor: %d\n', P_s);
% Redondear el número de paneles soportados por el inversor
paneles_soportados_inversor = round(P_s);
% Imprimir el número de paneles soportados por el inversor
fprintf ('Paneles soportados por el inversor: %d\n', paneles_soportados_inversor);
% Calcular y redondear el número de inversores necesarios
N_i = ceil (num_paneles / P_s);
% Imprimir el número de inversores necesarios
fprintf ('Número de inversores necesarios: %d\n', N_i);

```