

Estudio Comparativo de Soluciones de Sistema Fotovoltaico Aislado para un Usuario Rural
según la Oferta de Componentes

Camilo Andrés Villar Benjumea y Andrés Fernando Lozada García

Trabajo de Grado para Optar al Título de Ingeniero Electricista

Director

German Alfonso Osma Pinto

Doctor en Ingeniería - Área Ingeniería Eléctrica

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Físico-mecánicas

Escuela de Ingenierías Eléctrica, electrónica y Telecomunicaciones

Ingeniería Eléctrica

Bucaramanga, Santander

2022

Dedicatoria

Le dedico el esfuerzo y trabajo del presente proyecto a Dios y a María Santísima por darme tantas bendiciones, entre una de ellas estudiar en la Universidad Industrial de Santander que me ha formado profesionalmente.

A mi madre Carmen Rosa, mi padre Martin Jesús y mi hermana Lina María que me han brindado su amor incondicional ante las dificultades, siempre con fe y perseverancia para ayudarme a salir adelante.

A toda mi familia Villar Benjumea, en especial a los tíos Lilia, Guillermo y Jairo que han sido un apoyo importante para mí desarrollo profesional.

A Andrés Lozada por tenerme en cuenta para la realización del trabajo y toda su ayuda en el proceso de la Universidad, así mismo a todas las personas que a lo largo de la carrera me compartieron sus conocimientos y tiempo, para todos los mejores deseos y éxitos.

Camilo Andrés Villar Benjumea

A mis padres y hermanos por estar siempre presentes dándome su apoyo incondicional y por haber creído en mí.

A Camilo Villar por ser un gran amigo, pues, con sus conocimientos me ha ayudado en la formación y culminación de mis estudios.

Andrés Fernando Lozada García

Agradecimientos

Mis sinceros agradecimientos al profesor German Osma por compartimos sus conocimientos y ser una guía para el desarrollo del proyecto.

A la excelentísima Universidad Industrial de Santander por formarme profesionalmente, a todos los docentes, desde el primer y último semestre que pusieron gran esfuerzo para lograr la formación los mejores profesionales.

A mi amigo Andrés Lozada por su compromiso y apoyo.

Camilo Andrés Villar Benjumea

A Dios por ser mi guía y brindarme sabiduría y fuerza para seguir adelante.

A mi padre Aleycer Lozada y mi madre Gloria García por darme confianza, apoyo y motivación para cumplir mis metas.

A mi Amigo Camilo Villar por su gran desempeño, compromiso, esfuerzo y apoyo.

Al Dr. German Osma, director de este proyecto por brindarnos guía y conocimientos en el desarrollo del trabajo.

Andrés Fernando Lozada García

Tabla de Contenido

	Pág.
Introducción	14
1. Objetivos.....	16
1.1. Objetivo General.....	16
1.2. Objetivos Específicos.....	16
2. Condiciones Meteorológicas y Perfil de Demanda del Usuario	17
2.1. Descripción y Localización de la Zona.....	17
2.2. Condiciones Meteorológicas.....	19
2.3. Irradiancia solar en Cumaribo.....	20
2.3.1. Temperatura y velocidad del viento.....	26
2.3.2. Horario solar	28
2.4. Perfil de demanda	29
3. Determinación de Configuraciones.....	35
3.1. Tecnologías de Componentes en Colombia.....	36
3.2. Configuraciones	38
4. Dimensionamiento de Sistemas Fotovoltaicos	42
4.1. Primera Solución.....	47
4.2. Segunda Solución.....	49
4.3. Tercera Solución	52
4.4. Cuarta Solución.....	54
4.5. Quinta Solución	57
5. Análisis y Viabilidad Técnico-Financiera de las Soluciones.....	59

5.1. Análisis Técnico.....	60
5.2. Análisis Financiero	61
5.3. Viabilidad.....	71
6. Conclusiones.....	73
Referencias Bibliográficas	75
Apéndices.....	79

Lista de Tablas

	Pág.
Tabla 1. Irradiación en los últimos 5 años	21
Tabla 2. Irradiación entre los años 2005-2015.....	21
Tabla 3. Irradiación media horizontal según NREL y METEONORM	22
Tabla 4. Irradiación para ángulos óptimos por mes.....	25
Tabla 5. Elementos de consumo	30
Tabla 6. Consumo diario.....	31
Tabla 7. Demanda horaria estimada.....	31
Tabla 8. Tecnologías de componentes fotovoltaicos en Colombia.....	36
Tabla 9. Configuraciones posibles para el caso de estudio.....	40
Tabla 10. Configuraciones seleccionadas	42
Tabla 11. Coeficientes de rendimiento global	43
Tabla 12. Componentes seleccionados para la primera solución	47
Tabla 13. Componentes seleccionados para la segunda solución.....	50
Tabla 14. Componentes seleccionados para la tercera solución	52
Tabla 15. Componentes seleccionados para la cuarta solución	55
Tabla 16. Componentes seleccionados para la quinta solución	57
Tabla 17. Comparación de resultados técnicos de las soluciones.....	60
Tabla 18. Costo inicial de la solución 1	62
Tabla 19. Costo inicial de la solución 2.....	64
Tabla 20. Costo inicial de la solución 3.....	65

Tabla 21. Costo inicial de la solución 4.....	67
Tabla 22. Costo inicial de la solución 5.....	69
Tabla 23. Costo presente neto de las soluciones.....	70
Tabla 24. Costo nivelado de la energía de las soluciones.....	71
Tabla 25. Orden de viabilidad.....	72
Tabla 26. Rendimiento global de la primera solución	98
Tabla 27. Rendimiento global de la segunda solución	100
Tabla 28. Rendimiento global de la tercera solución.....	102
Tabla 29. Rendimiento global de la cuarta solución.....	105
Tabla 30. Rendimiento global de la quinta solución.....	107
Tabla 31. Cotización de paneles solares	109
Tabla 32. Cotización de reguladores.....	110
Tabla 33. Cotización baterías.....	112
Tabla 34. Cotización inversores.....	113
Tabla 35. Cotizaciones de Inversores 3 en 1.....	117

Lista de Figuras

	Pág.
Figura 1. Descripción del municipio de Cumaribo entre los años 1990-2013.....	18
Figura 2. Localización y delimitación de la zona de interés.....	19
Figura 3. Irradiación media en el plano horizontal.....	23
Figura 4. Irradiación media diaria por mes para diversas superficies.....	24
Figura 5. Comparación de la irradiación para ángulos óptimos.....	25
Figura 6. Irradiación media anual según el IDEAM.....	26
Figura 7. Comportamiento de la temperatura en Cumaribo.....	27
Figura 8. Velocidad del viento en Cumaribo.....	28
Figura 9. Días de nubosidad y horario solar promedio mensual en Cumaribo.....	29
Figura 10. Distribución de los consumos.....	32
Figura 11. Consumos diarios para el año.....	33
Figura 12. Distribución de los consumos según PVsyst.....	34
Figura 13. Esquema general de un sistema fotovoltaico aislado.....	35
Figura 14. Configuración fotovoltaica independiente.....	38
Figura 15. Configuración fotovoltaica con inversor 3 en 1.....	39
Figura 16. Configuración fotovoltaica con inversor 3 en 1 y grupo electrógeno.....	39
Figura 17. Esquema del dimensionado de componentes de la primera solución.....	49
Figura 18. Esquema del dimensionado de componentes para la segunda solución.....	51
Figura 19. Esquema de dimensionado de componentes para la tercera solución.....	54
Figura 20. Esquema de dimensionado de componentes para la cuarta solución.....	56

Figura 21. Esquema de dimensionado de componentes para la quinta solución	59
Figura 22. Flujo de caja para solución 1	63
Figura 23. Flujo de caja para solución 2	65
Figura 24. Flujo de caja para solución 3	66
Figura 25. Flujo de caja para solución 4	68
Figura 26. Flujo de caja para solución 5	69
Figura 27. Célula de triple unión	93
Figura 28. Tipos de celdas solares más utilizadas	94
Figura 29. Ficha técnica Ecogreen.....	118
Figura 30. Ficha técnica Zshine	120
Figura 31. Ficha técnica Growatt SC48120.....	122
Figura 32. Ficha técnica SRNE HP2460.....	123
Figura 33. Ficha técnica Ultracell UVZ600 -6	124
Figura 34. Ficha técnica Next City Litio NCL-LFPO-48100.....	126
Figura 35. Ficha técnica Ultracell Gel UCG316-12	127
Figura 36. Ficha técnica Eperver Onda Pura IP3000-11-Plus(T).....	129
Figura 37. Ficha técnica Paco Onda Modificada 3000 W 24 V	129
Figura 38. Ficha técnica de Voltronic Axpert MAX-6500-48-120	130
Figura 39. Grupo electrógeno Bauker GG6300E	131

Lista de Apéndices

	Pág.
Apéndice A. Definiciones	79
Apéndice A1. Radiación solar	79
Apéndice A2. Irradiancia	79
Apéndice A3. Efecto fotovoltaico.....	80
Apéndice A4. Horas solar pico HSP.....	80
Apéndice A5. Sistemas fotovoltaicos autónomos.....	81
Apéndice A6. Dimensionamiento	82
Apéndice B. Componentes.....	82
Apéndice B1. Paneles fotovoltaicos	82
Apéndice B2. Inversores.....	83
Apéndice B3. Reguladores.....	84
Apéndice B4. Baterías	87
Apéndice C. Nuevas investigaciones en células solares.....	90
Apéndice C1. Células bifaciales de fósforo-boro	90
Apéndice C2. Nanotecnología	91
Apéndice C3. Células solares supereficientes	92
Apéndice C4. Tecnología de triple unión	92
Apéndice D. Células solares más usadas en la actualidad	93
Apéndice D1. Silicio cristalizado	94
Apéndice D2. De películas delgadas	95
Apéndice E. Análisis financiero	96

Apéndice E1. Costo presente neto (CPN).....	96
Apéndice E2. Costo nivelado de la electricidad (LCOE)	96
Apéndice F. Dimensionamiento.....	97
Apéndice F1. Primera solución.....	97
Apéndice F2. Segunda solución.....	100
Apéndice F3. Tercera solución	102
Apéndice F4. Cuarta solución.....	105
Apéndice F5. Quinta solución.....	107
Apéndice G. Cotizaciones.....	109
Apéndice G1. Paneles solares	109
Apéndice G2. Reguladores	110
Apéndice G3. Baterías	112
Apéndice G4. Inversores.....	113
Apéndice G5. Inversores 3 en 1	117
Apéndice G6. Grupos electrógenos	117
Apéndice H. Fichas técnicas	118
Apéndice H1. Paneles solares	118
Apéndice H2. Reguladores	122
Apéndice H3. Baterías	124
Apéndice H4. Inversores.....	129
Apéndice H5. Grupo electrógeno	131

Resumen

Título: Estudio Comparativo de Soluciones de Sistema Fotovoltaico Aislado para un Usuario Rural según la Oferta de Componentes*

Autor: Camilo Andrés Villar Benjumea y Andrés Fernando Lozada García**

Palabras Clave: Comparación, Componentes, Energía Solar, Sistemas Aislados.

Descripción: Este trabajo de grado se basa en la comparación de soluciones con sistemas fotovoltaicos aislados a partir de la oferta comercial de componentes para suplir la necesidad energética de un usuario ubicado en una zona rural del municipio de Cumaribo en el departamento de Vichada, además se realiza un análisis técnico-financiero para determinar la viabilidad de las soluciones. Inicialmente, se recolecta la información de las condiciones climáticas por medio de bases de datos para identificar el potencial solar de la zona. Seguidamente, se realiza la estimación del perfil de demanda del usuario teniendo en cuenta dispositivos comunes en una vivienda familiar y un sistema de riego. Se determinan configuraciones que se puedan implementar con los componentes presentes en el mercado nacional combinando tecnologías para tener variedad de posibilidades y de éstas seleccionar cinco. Se dimensionan las soluciones con base a las configuraciones seleccionadas, consultas en distintos distribuidores y la información recolectada de las condiciones climáticas, utilizando el método del peor mes. Se realizan los cálculos para obtener cantidades y disposiciones de los componentes de cada solución. Finalmente, se analizan los resultados obtenidos en el dimensionamiento para compararlos técnica y financieramente con el fin de establecer la viabilidad de las soluciones.

* Trabajo de Grado

** Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas. Escuela de Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones. Ingeniería Eléctrica. Director: German Alfonso Osma Pinto. Doctor en Ingeniería – Área Ingeniería Eléctrica.

Abstract

Title: Comparative Study of Isolated Photovoltaic System Solutions for a Rural User according to the Component Offer *

Author(s): Camilo Andrés Villar Benjumea y Andrés Fernando Lozada García **

Key Words: Comparison, Components, Isolated Systems, Solar Energy.

Description: This degree work is based on the comparison of solutions with photovoltaic systems isolated from the commercial offer of components to meet the energy needs of a user located in a rural area of the municipality of Cumaribo in the department of Vichada, in addition, a technical-financial analysis is to determine the viability of the solutions. Initially, information on weather conditions is collected through databases to identify the solar potential of the area. Next, the user's demand profile is estimated taking into account the common devices in a family home and an irrigation system. Configurations that can be implemented with the components present in the national market are determined, combining technologies to have a variety of possibilities and from these select five. The solutions are dimensioned based on the selected configurations, consultations in different distributors and the information collected on the climatic conditions, using the method of the worst month. Calculations are performed to obtain quantities and arrangements of the components of each solution. Finally, the results obtained in the dimensioning are analyzed to compare them technically and financially in order to establish the viability of the solutions.

* Degree Work

** Faculty of Physicomechanical Engineering. School of Electrical, Electronic and Telecommunications Engineering. Director: German Alfonso Osma Pinto. Doctor in Engineering – Área Eléctrica Engineering.

Introducción

En el territorio nacional se encuentran zonas que no cuentan con energía eléctrica, algunas ubicadas en condiciones geográficas complejas de difícil acceso, y según datos del Banco Interamericano de Desarrollo (BID), el SIN (Sistema Interconectado Nacional) se extiende aproximadamente en un 34% del país donde vive el 96% de la población, con una cobertura de 99.35% a nivel urbano y 83.39% a nivel rural (Banco Interamericano de Desarrollo et al., 2017). No obstante, son cerca de 1710 poblados del país que en la actualidad viven sin suministro eléctrico, siendo los departamentos de Nariño, Chocó y Cauca los más afectados.

Por lo anterior, para algunos expertos en gestión de la energía, como Julián Aristizábal, afirman que es “inconcebible que con la tecnología actual aún existan regiones del país sin acceso a la electricidad” (Vivas, 2019), lo que implica buscar soluciones alternativas que permitan satisfacer necesidades domésticas y promover la tecnificación de labores agrícolas y agropecuarias, ya que la energización se concibe como soporte a estas actividades que influyen en la calidad de vida y desarrollo de las poblaciones (Sánchez et al., 2016).

Debido a la necesidad energética, en Colombia existe un marco legal y regulatorio que promueve las fuentes de energías no convencionales (FNE) para las zonas conectadas y aisladas del SIN, tal como se indica en la Ley 1715 de 2014 y la Ley 2099 de 2021, que otorga beneficios tributarios a los interesados en desarrollar estos proyectos, una vez cumplan con los requisitos y procedimientos establecidos por las entidades correspondientes, por lo que un usuario se vería beneficiado en la adquisición de equipos nacionales o importados debido a la exención del IVA y el arancel de importación (González et al., 2016).

Ante esta situación, se abre un camino para el desarrollo de proyectos que involucren la energía solar, que en la actualidad presentan interés y unas posibilidades fuera de toda duda (Martínez & del Amo Sancho, 2016), por lo cual el presente trabajo busca analizar diversas soluciones a partir del dimensionamiento de sistemas fotovoltaicos aislados para un usuario rural ubicado en el municipio de Cumaribo- Vichada, según configuraciones de las tecnologías de componentes disponibles en el mercado nacional.

1.Objetivos

1.1.Objetivo General

Desarrollar un análisis comparativo de soluciones de dimensionamiento de sistemas fotovoltaicos aislados para un usuario rural según alternativas tecnológicas de componentes ofertados en el mercado y aplicación de disposiciones legales y regulatorias vigentes.

1.2.Objetivos Específicos

Estimar el perfil de demanda del usuario e identificar el potencial solar, temperatura ambiente y condiciones climáticas en el municipio de Cumaribo, Vichada.

Determinar configuraciones de sistemas fotovoltaicos aislados según la oferta de componentes a nivel nacional.

Dimensionar un sistema fotovoltaico aislado para cada configuración establecida según la oferta de mercado.

Determinar la viabilidad técnico-financiera de cada solución a partir del cálculo de indicadores operacionales y financieros.

2. Condiciones Meteorológicas y Perfil de Demanda del Usuario

Este capítulo aborda las condiciones necesarias para el análisis y dimensionamiento de soluciones con sistemas fotovoltaicos (SFV), dirigido a un usuario rural aislado. Por lo anterior, se expone la información imprescindible para el desarrollo del caso en estudio.

2.1. Descripción y Localización de la Zona

El municipio de Cumaribo en el departamento de Vichada se encuentra al oriente del territorio colombiano. Cumaribo es reconocido como el municipio más grande del país con una extensión de 65.674 km² y una población que ronda los 37.000 habitantes. El territorio hace parte de la región de los Llanos Orientales donde se distinguen cuatro conjuntos fisiográficos: la llanura aluvial de desborde, la altillanura, la franja de aluviones de los grandes ríos y el escudo guayanés (Azabache et al., 2020). El municipio limita al norte con los municipios de Santa Rosalía, La Primavera y Puerto Carreño (capital del departamento); al sur limita con el departamento del Guaviare, al occidente con el departamento del Meta y al oriente con la República de Venezuela por medio del río Orinoco (Sánchez et al., 2016).

Este territorio posee grandes riquezas y es reconocido por su gran biodiversidad siendo una de las zonas en donde se aprecia la transición de las sábanas de la Orinoquía a las selvas de la Amazonía. Muchas de estas áreas hacen parte de bosques inundables que se relacionan con morichales, esteros y lagunas llegando a ocupar el 92% de la totalidad del departamento. Su gran diversidad de fauna y flora representan la región por medio de especies como: caimanes, tortugas, peces, garzas, anfibios y variedad de peces.

La Figura 1 presenta la información sobre el lugar de interés y especifica datos sobre la superficie territorial, número de habitantes, comunidades indígenas y el avalúo catastral realizado por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi en el año 2013.

Figura 1

Descripción del municipio de Cumaribo entre los años 1990-2013



Nota. Tomado del Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC, 2013).

Para la obtención del potencial solar se toma un lugar de referencia en la periferia del casco urbano de Cumaribo y que, además, se encuentre cerca de un afluente hídrico que favorece los cultivos debido a su bajo nivel freático, que permite una extracción de agua no tan profunda. Esto es fundamental para las necesidades alimenticias de la familia y la selección de los dispositivos de bombeo. La vegetación y la fertilidad que se pueden encontrar alrededor de una fuente hídrica dan la posibilidad al sembrado de pequeños cultivos, a parte de la caña de azúcar, como el pancoger¹, que son aquellos que satisfacen parte de las necesidades alimenticias, estos alimentos pueden ser:

¹ Se denominan así aquellos cultivos que satisfacen parte de las necesidades alimenticias de una población determinada. En la zona cafetera son cultivos de pancoger: el maíz, el frijol, la yuca, el plátano, entre otros.

maíz, frijol, la yuca, el plátano, entre otros (Federación Nacional de Cafeteros, 2022). y, además, pueden ser una fuente de ingresos ya que los alimentos no consumidos pueden ser comercializados.

El lugar de referencia posee las siguientes coordenadas: $4^{\circ}26'08.3''\text{N}$ $69^{\circ}46'46.3''\text{W}$. Con la ayuda de Google Earth se detalla la ubicación exacta en el globo terráqueo como a continuación:

Figura 2

Localización y delimitación de la zona de interés



Nota. Delimitación por medio de Google Earth.

2.2. Condiciones Meteorológicas

Las variables que mayormente definen el clima de un lugar determinado son temperatura ambiente, irradiancia solar, humedad y velocidad del viento, entre otras. Esta información puede ser encontrada en fuentes confiables como IDEAM, NASA, NREL, etc., que son instituciones dedicadas al seguimiento y monitoreo del clima a nivel nacional o mundial.

La caracterización ambiental es de suma importancia para la cuantificación de la energía disponible y los factores que puedan afectar el rendimiento de la instalación. Para representar la

energía solar se utiliza la irradiación como unidad que mide la intensidad de los rayos solares y se precisa en kWh/m². La energía que capta un panel FV va a depender tanto de la climatología del lugar como el ángulo de inclinación que el panel posea respecto a los rayos solares (Bayod, 2009, p. 281).

2.3.Irradiancia solar en Cumaribo

Cumaribo se encuentra en un lugar estratégico para el aprovechamiento del recurso solar debido a su cercanía con la línea del Ecuador y su altura de 161 m sobre el nivel del mar (IGAC, 2013). El cálculo exacto de la energía solar incidente en una determinada ubicación es un tema complejo que conduce a un problema estadístico y físico. Sin embargo, se pueden realizar aproximaciones suficientemente aceptables suponiendo que la energía recibida es la correspondiente a la media del lugar en la que se instale el sistema fotovoltaico (Bayod, 2009, p. 281).

En la obtención de la irradiancia promedio, se toman datos de diferentes fuentes de información entre las cuales están: NASA, NREL, PVGIS y METEONORM. Con estos reportes se puede tener una claridad del potencial solar en la zona de interés y, además, comparar los distintos valores que proporciona cada plataforma con el fin de conseguir resultados más cercanos a la realidad.

La primera base de datos a utilizar es NASA. En primer lugar, se introducen las coordenadas geográficas del sitio y se solicita la información de los datos medios mensuales de la irradiación sobre superficies horizontales evaluado en kWh/m²; estos datos están tabulados en memorias de cálculo, con los cuales se construye un registro histórico de los últimos 5 años, mes a mes, esto para tener presente los efectos más recientes del cambio climático y un control acertado de la irradiancia de Cumaribo. Los antecedentes de irradiación son presentados en la Tabla 1.

Tabla 1*Irradiación en los últimos 5 años*

Año/Mes	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	PROM
2015	5.09	5.47	5.18	4.23	4.64	4.00	4.35	4.36	5.09	4.61	4.80	4.74	4.71
2016	6.06	5.20	5.41	4.28	3.92	4.09	4.47	4.88	5.11	4.48	4.52	4.42	4.74
2017	5.10	5.71	4.76	5.00	4.50	4.12	3.84	5.09	5.11	4.86	4.77	5.48	4.86
2018	5.27	6.17	5.30	4.39	3.88	3.62	3.90	4.74	4.82	4.62	4.61	5.44	4.73
2019	5.45	5.15	4.97	4.98	4.20	4.07	4.06	4.63	4.81	4.90	4.87	4.82	4.74
2020	5.88	6.05	5.80	4.81	4.42	4.49	4.66	4.12	4.83	4.79	4.69	4.87	4.95
TOTAL	5.47	5.62	5.24	4.61	4.26	4.06	4.21	4.64	4.96	4.71	4.71	4.96	4.79

Nota. Datos tomados de la base de datos NASA. Unidades en kWh/m²/día.

Según la Tabla 1, el peor mes a considerar en todos los años es junio con 4.06 kWh/m², y el mejor se sitúa en febrero con 5.62 kWh/m², y se tiene una irradiancia media anual de 4.79 kWh/m².

Ahora bien, se procede a tabular los datos de PVGIS que considera un periodo de tiempo entre 2005 y 2015 como se muestra en la Tabla 2.

Tabla 2*Irradiación entre los años 2005-2015*

Año/Mes	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	PROM
2005	5.42	5.59	5.65	4.48	4.32	4.37	4.59	4.90	5.19	5.12	4.72	5.31	4.97
2006	4.47	5.57	4.93	4.93	4.27	4.28	4.21	4.62	5.34	4.97	4.54	5.35	4.79
2007	5.38	6.33	5.31	5.07	4.34	4.32	4.60	4.36	5.19	4.66	4.93	4.96	4.95
2008	5.46	5.32	5.71	5.34	4.52	4.30	4.30	4.75	5.23	5.02	4.33	5.41	4.97
2009	4.82	5.54	5.01	4.88	5.00	4.25	4.48	4.60	5.12	4.64	4.89	5.17	4.87
2010	5.51	5.21	5.19	4.62	4.18	4.69	4.50	4.48	5.31	5.38	4.86	5.06	4.92
2011	5.51	5.60	5.32	4.60	4.07	4.57	4.53	5.28	5.60	4.44	4.65	4.60	4.90
2012	5.20	5.60	4.79	4.53	4.69	4.32	4.32	4.68	3.17	5.53	4.91	5.17	4.74
2013	5.69	4.84	5.09	5.01	4.72	4.56	4.73	4.61	5.33	5.36	4.92	5.24	5.01
2014	5.69	5.37	5.99	4.82	4.67	4.05	4.58	4.74	5.13	4.79	4.94	4.98	4.98
2015	5.32	5.73	5.60	4.53	4.72	4.31	4.66	4.89	5.27	5.06	4.79	4.83	4.97
TOTAL	5.32	5.52	5.33	4.80	4.50	4.36	4.50	4.72	5.08	5.00	4.77	5.10	4.92

Nota. Datos tomados de la base de datos PVGIS, Unidades en kWh/m²/día.

Los datos son muy parecidos entre las anteriores fuentes y sitúan la irradiación en Cumaribo cercana a 5.0 kWh/m² y coinciden en que el peor mes es junio y el mejor es febrero.

Con la información recogida, se buscan otras bases de datos por medio de PVsyst; en la interfaz del software se introduce las coordenadas del lugar de interés o se elige directamente el sitio en su mapa interactivo. Ya con la zona localizada se importan los datos de NREL desde el año 1998 a 2016 y METEONORM para los años de 2010 a 2014, para con esto construir la siguiente tabla:

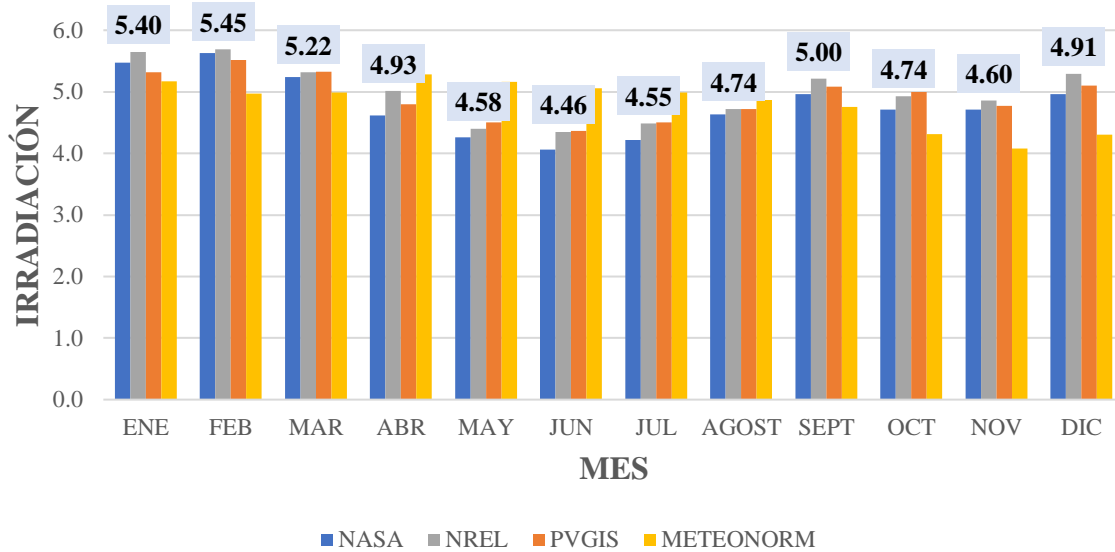
Tabla 3

Irradiación media horizontal según NREL y METEONORM

MES	NREL	METEONORM
ENE	5.65	5.17
FEB	5.69	4.97
MAR	5.32	4.99
ABR	5.01	5.28
MAY	4.4	5.16
JUN	4.35	5.06
JUL	4.49	4.99
AGOST	4.72	4.87
SEPT	5.21	4.75
OCT	4.93	4.31
NOV	4.86	4.08
DIC	5.29	4.3
ANUAL	4.99	4.83

Nota. Datos tomados de PVsyst. Unidades en kWh/m²/día.

Observando los valores de la Tabla 3, se encuentra una diferencia notable con los datos de Meteonorm respecto a las otras fuentes de información, el caso más evidente es en el mes de junio donde las demás coinciden en que se presenta la menor irradiación. Además, para los meses con mejor potencial solar, la información de Meteonorm presenta datos de irradiación bajos.

Figura 3*Irradiación media en el plano horizontal*

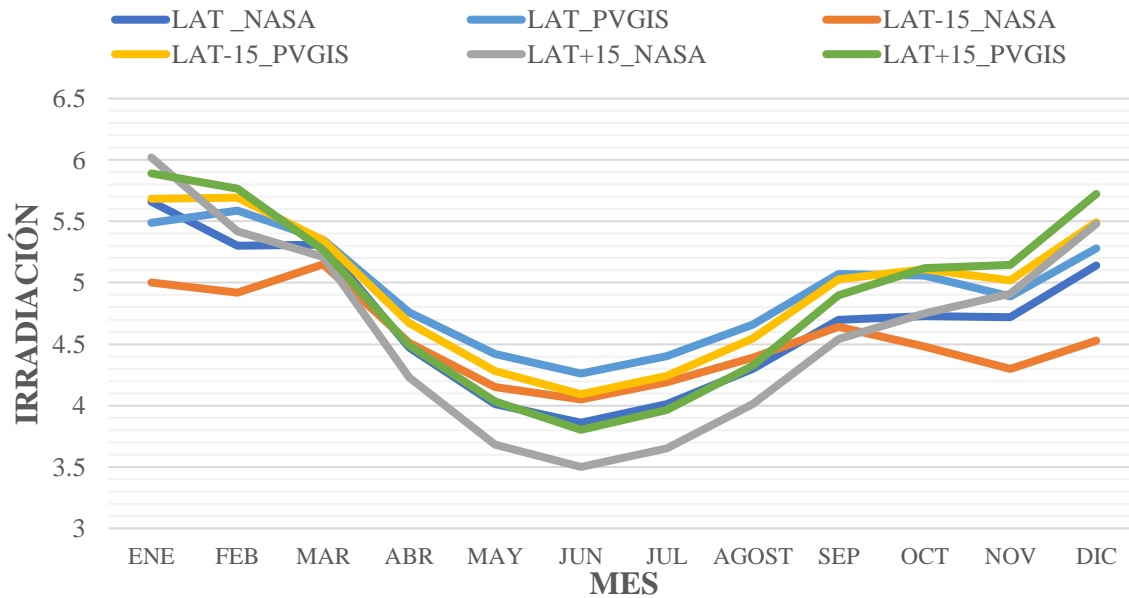
Nota. Promedios mensuales de las distintas bases de datos presentadas en las tablas 1, 2 y 3. Unidades en kWh/m²/día.

De la figura anterior, de una manera sencilla se obtiene la irradiación promedio mensual de las bases de datos consultadas. Como se observa, los tres primeros meses del año presentan la mayor irradiación solar promedio y el peor mes se sitúa en junio con un valor de 4.46 HSP; sin embargo, los demás meses tienen un gran potencial en la generación fotovoltaica manteniendo valores por alrededor de 5.0 HSP.

Ahora bien, se busca la irradiación sobre distintos ángulos de inclinación de superficies, esto para tener en cuenta más de un escenario posible y que sea efectivo para la generación fotovoltaica. Para ello, se construye la Figura 4 que considera tres ángulos específicos para detallar la irradiación con base en los datos arrojados por PVGIS y NASA.

Figura 4

Irradiación media diaria por mes para diversas superficies



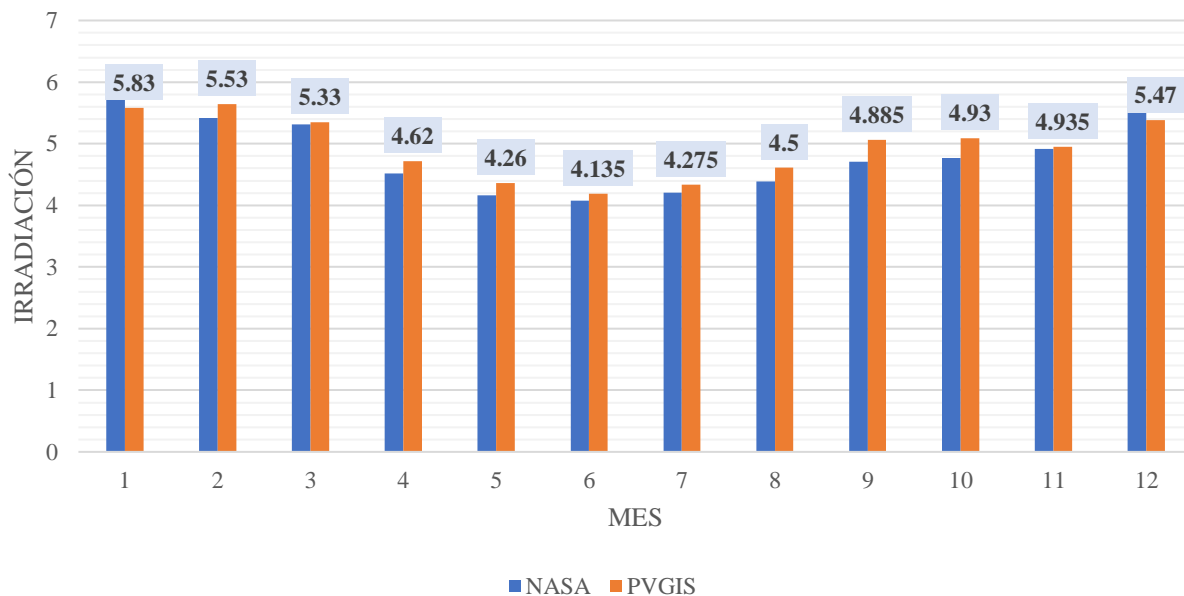
Nota. Irradiación para distintas inclinaciones según NASA y PVGIS. Unidades en kWh/m²/día.

Los ángulos considerados parten de la latitud como referencia, por eso se obtiene latitud más 15° y menos 15°. En las curvas se puede detallar la similitud en cuanto al comportamiento a lo largo de los meses del año, favoreciendo algunas inclinaciones en ciertos meses, como es el caso de LAT+15° que en el primer trimestre obtiene los mayores resultados, pero desciende considerablemente entre los meses de abril y septiembre. Se observa que el mes de junio obtuvo los niveles con menos irradiación del año y se identifica que usar el ángulo de la latitud es favorable para el caso de estudio. Además, se tiene la irradiación para ángulos óptimos que brinda NASA y PVGIS como se muestra en la Tabla 4 y Figura 5.

Tabla 4*Irradiación para ángulos óptimos por mes*

MES/FUENTE	NASA			PVGIS	
	Ángulo óptimo	Orientación	Irradiación [kWh/m ²]	Ángulo óptimo	Irradiación [kWh/m ²]
ENE	28.5°	S	6.08		5.58
FEB	18.5°	S	5.42		5.64
MAR	6°	S	5.31		5.35
ABR	-6°	N	4.52		4.72
MAY	-14.5°	N	4.16		4.36
JUN	-18.5	N	4.08	7°	4.19
JUL	-17°	N	4.21		4.34
AGO	-9.5°	N	4.39		4.61
SEPT	1°	S	4.71		5.06
OCT	13.5°	S	4.77		5.09
NOV	24°	S	4.92		4.95
DIC	30°	S	5.56		5.38

Nota. Tomado de la base de datos de la NASA y PVGIS.

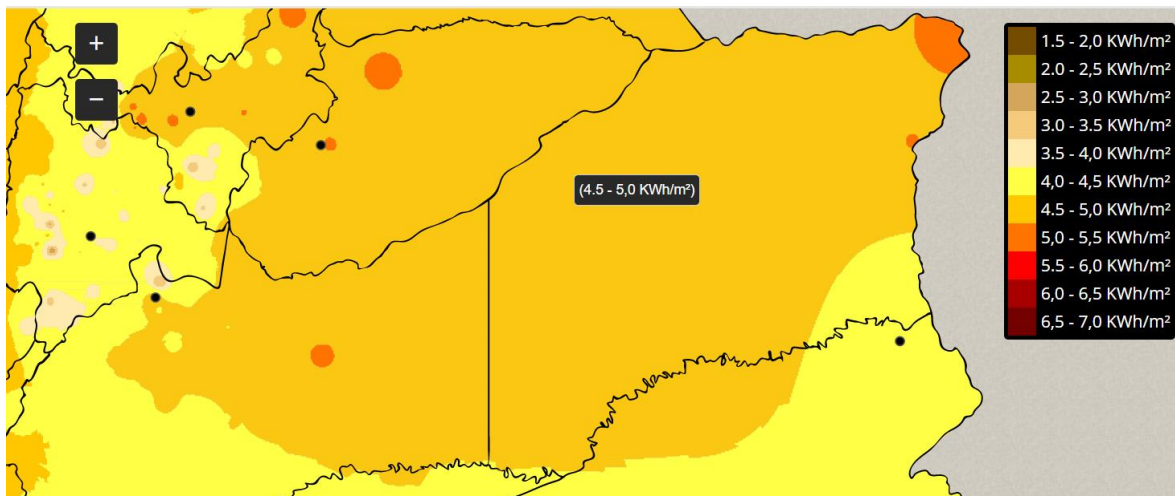
Figura 5*Comparación de la irradiación para ángulos óptimos*

Nota. Irradiación para distintas inclinaciones según NASA y PVGIS. Unidades en kWh/m²/día.

Finalmente, se realiza la consulta de irradiación en la base de datos del IDEAM, en donde encontramos un atlas interactivo con los datos de la región. Observando el mapa se evidencia un valor promedio entre 4.5 y 5.0 kWh/m², que es similar a la información de las anteriores fuentes.

Figura 6

Irradiación media anual según el IDEAM

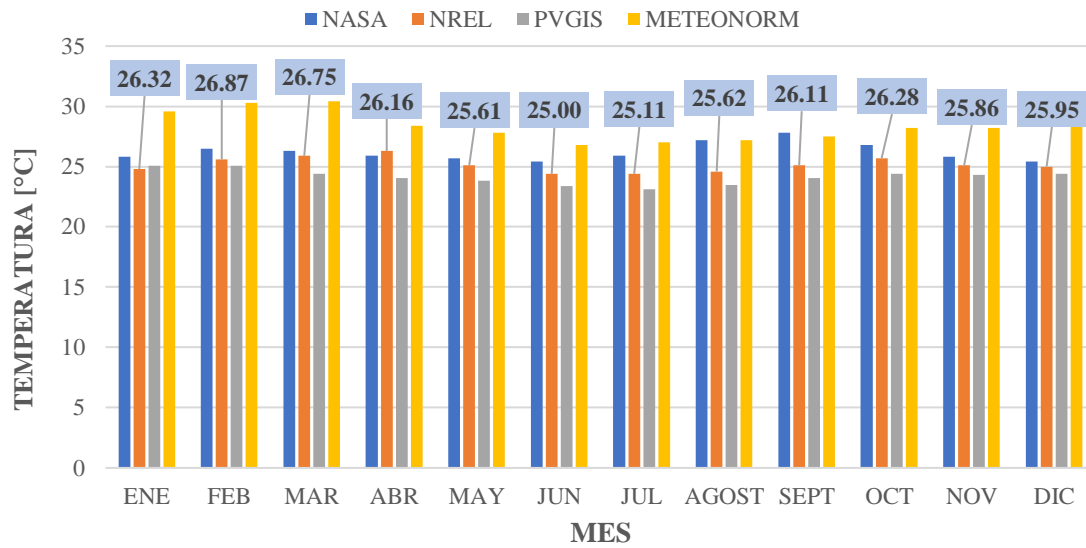


Nota. Tomado del Atlas del IDEAM. Irradiación promedio diaria-anual.

2.3.1. Temperatura y velocidad del viento

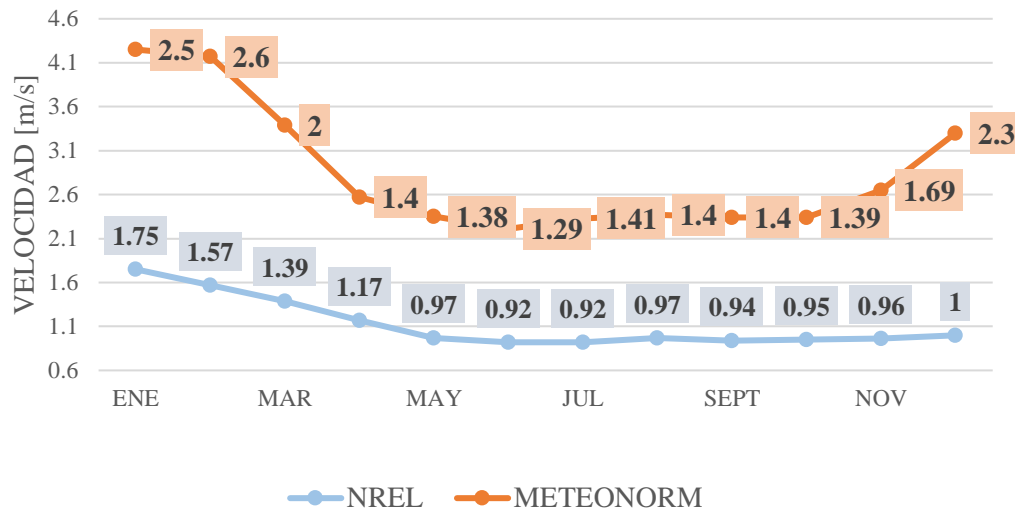
Otra de las condiciones meteorológicas importante es la temperatura, aquí se puede detallar cómo cambia su valor en todo el año, la temperatura tiende a ser constante en los 3 primeros meses del año y en los últimos 4, teniendo un declive a partir de abril y que llega hasta el mes de julio; este comportamiento se ve reflejado en el nivel de precipitaciones que ocasiona el descenso de la temperatura, y que llega a sus niveles más altos en el mes de abril y mayo,

Con base a los datos arrojados por la Figura 7 en Cumaribo se tendría una temperatura media de 26 °C, información que más adelante influye en la selección de componentes fotovoltaicos.

Figura 7*Comportamiento de la temperatura en Cumaribo*

Nota. Tomado de las diferentes bases de datos en estudio. Datos en grados Celsius [°C].

En el gráfico anterior se puede apreciar valores de temperatura que se encuentran en la parte superior de cada mes y representan el promedio de la información obtenida en las bases de datos allí presentadas.

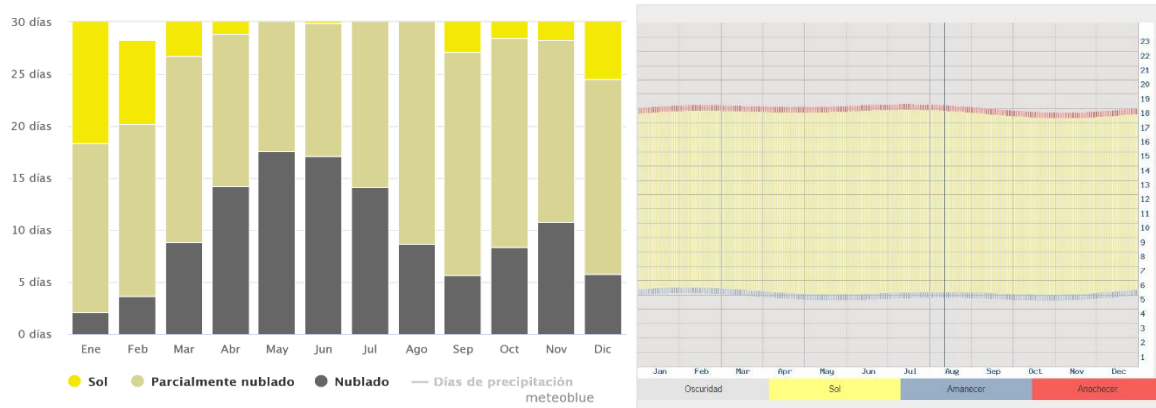
Figura 8*Velocidad del viento en Cumaribo*

Nota. Velocidad del viento en m/s.

En los primeros meses del año se presenta una alta velocidad del viento la cual va descendiendo a lo largo de los meses hasta mayo, y a partir de esta fecha no se observan cambios considerables hasta el mes de diciembre.

2.3.2.Horario solar

La cercana ubicación de Cumaribo a la línea del ecuador hace que esta región no sufra de cambios de estaciones, por tal motivo, los periodos de Sol y noche ocurren casi en la misma zona horaria para todos los meses. El Sol sale entre las 5 y 6 de la mañana, y su ocaso hacia las horas de las 6 de la tarde, un intervalo de tiempo propicio para la generación fotovoltaica y que nos permite estimar los horarios de iluminación en la vivienda.

Figura 9*Días de nubosidad y horario solar promedio mensual en Cumaribo*

Nota. Figura Días de Nubosidad tomada de (*Datos climáticos y meteorológicos históricos simulados para Cumaribo, 2022*) y horario solar promedio mensual tomada de (*Salida y puesta del sol en Cumaribo, Vichada, Colombia, 2022*).

Las sombras provocadas por la nubosidad inciden en la eficiencia de los sistemas fotovoltaicos, el mes con mayor nubosidad de alrededor de los 17 días es mayo, mes en el cual el sistema de almacenamiento debe cumplir con la energía demandada.

2.4. Perfil de demanda

Esta sección considera los elementos que van a ser alimentados por el sistema fotovoltaico (SFV) y su tiempo de uso. Se deben establecer los hábitos de consumo para caracterizar la demanda, esto se hace por medio de una estimación del uso de la potencia de los elementos presentes en una vivienda tipo rural. Por consiguiente, se toma la potencia conocida de algunos elementos y para otros la potencia estandarizada y no se tiene en cuenta los modelos de las marcas comerciales de los distintos equipos.

A continuación, la Tabla 5 presenta el listado de las cargas consideradas, sus observaciones y la potencia con el tiempo estimado de utilización diaria.

Tabla 5*Elementos de consumo*

Carga	Potencia [W]	Uso por día [h]	Observaciones
Iluminación	15	6	Se considera que la mejor opción es usar luminarias tipo LED que presentan un bajo consumo.
Nevera	102	8	Electrodoméstico de uso constante con actividad de motor de 8 horas diarias. Para este trabajo se considera una potencia de 102 W.
Licuadaora	500	0,25	Su uso es de corto tiempo y presenta una potencia considerable.
Televisor LED	250	6	Elemento para el entretenimiento, su consumo depende del tamaño de la pantalla, en este caso se va a tomar una potencia de 250 W.
Laptop	100	6	Tomando en cuenta un dispositivo de gama media de 14 pulgadas, el consumo promedio está cerca de 100 W.
Ventilador	60	8	Elemento con buen flujo de aire y de bajo consumo.
Lavadora	800	1,5	Dispositivo de alto consumo de energía, la potencia promedio que se va a tener en cuenta es de 800 W.
Plancha de ropa	1200	0,2	Elemento con alto consumo, se va a considerar una potencia 1200 W.
Tomacorriente	180	12	Salidas de energía para elementos de bajo consumo (carga de dispositivos móviles, radio, grabadora, etc.), la potencia estándar para cada uno de estos elementos es de 180 W.
Sistema de riego	1500	8	Este sistema requiere un flujo de agua constante para que se desarrolle en perfectas condiciones el proceso agrícola, para esto la electrobomba lo debe alimentar impulsando el agua desde el afluente más cercano. Para el cálculo correcto de la potencia de la electrobomba es necesario conocer varios factores del terrero (relieve, distancias de afluentes, etc.). Para este trabajo se asume que la potencia es de 1500 W.

Nota. Tomado de estimaciones de la Web.

En la siguiente tabla se organizan los datos de consumo de los elementos a los cuales se estima el tiempo de utilización diaria. Considerando, que cualquiera de ellos puede funcionar de manera simultánea y con esto podemos obtener el consumo diario en condición normal de demanda.

Tabla 6*Consumo diario*

Cantidad	Carga	Potencia [W]	Potencia total [W]	Simultaneidad	Horas	Energía [Wh]
7	Iluminación	15	105	100%	6	630
1	Nevera	102	102	100%	8	816
1	Licuadaora	500	500	100%	0.25	125
1	Televisor LED	250	250	100%	6	1500
1	Laptop	100	100	100%	6	600
1	Ventilador	60	60	100%	8	480
1	Lavadora	800	800	100%	1.5	1200
1	Plancha de ropa	1200	1200	100%	0.2	240
10	Tomacorriente	180	1800	10%	12	2160
1	Sistema de riego	1500	1500	100%	8	12000
Carga Instalada [W]		6417	Potencia simultanea [W]	4797	Consumo diario [Wh]	19751

Teniendo en cuenta los elementos de consumo, se estima un perfil de demanda horaria que se podría presentar dependiendo de los hábitos normales de uso dado a los equipos residenciales; asimismo, se considera que el sistema de riego es funcional en las horas del día cuando el sol es más intenso (9 a.m. – 4 p.m.). Esto es mostrado por la Tabla 7.

Tabla 7*Demanda horaria estimada*

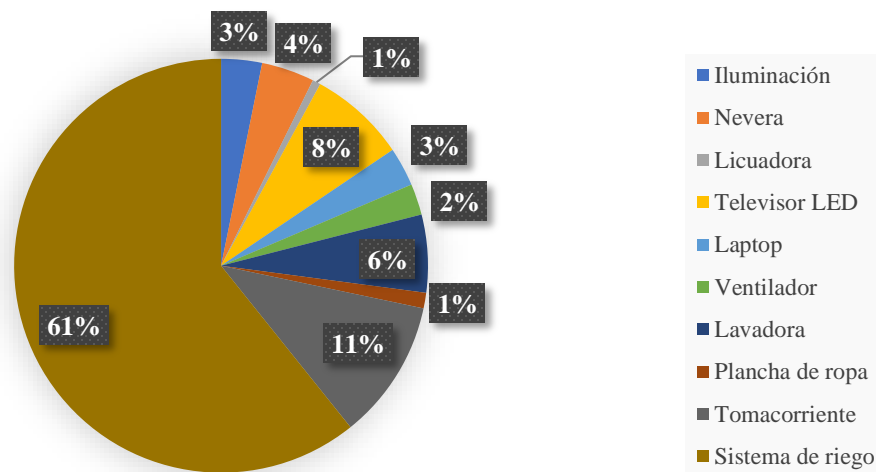
Hora	Demanda [Wh]	Hora	Demanda [Wh]
0	342	12	2037
1	240	13	1560
2	240	14	1600
3	342	15	1702
4	180	16	1500
5	285	17	0
6	522	18	457
7	0	19	535
8	900	20	535
9	2102	21	637
10	1600	22	595
11	1600	23	240

Demanda diaria [Wh]	19751
----------------------------	-------

Una vez caracterizadas la carga instalada de la vivienda tipo y sus respectivos consumos, se procede en la estimación de la demanda diaria con el fin de dimensionar el sistema fotovoltaico de acuerdo con las necesidades energéticas. Debido a que es una estimación, algunos consumos pueden estar sobre ponderados de tal manera, la capacidad instalada de los equipos no tenga mayor problema en suplir los requerimientos energéticos.

Figura 10

Distribución de los consumos



La Figura 10 muestra la distribución porcentual de los consumos de la vivienda, en el cual se tiene que más de la mitad de la energía es consumida por el sistema de riego debido a su característica motriz y las cerca de 8 horas de funcionamiento, se considera una carga de importancia en la instalación. Luego se tienen los tomacorrientes donde diversos dispositivos pueden ser conectados tales como cargadores y representan el 11% del consumo. Aparatos como lavadora, televisor, laptop, nevera, ventilador, plancha de ropa y licuadora conforman el resto del

consumo y en la mayoría los porcentajes rondan por el 5% debido a que las horas de consumo no superan la hora o las dos horas.

Para verificar lo anterior, se realiza la estimación de los consumos por medio de PVsyst en su herramienta de diseño preliminar de instalaciones independientes; en esta opción se pueden agregar en forma de lista los elementos de consumo con sus respectivas potencias y horas de uso diario como lo muestra la siguiente figura:

Figura 11

Consumos diarios para el año

Pre-dimensionamiento sistema independiente - Uso diario de energía

Definición de consumos domésticos diarios para el año.

Consumo | Distribución por hora

Consumos diarios

Número	Aparato	Potencia	Uso diario	Distrib. por hora	Daily energy
7	Lámparas (LED o fluo)	15 W/lámpara	6.0 h/día	OK	630 Wh
1	TV / PC	350 W/apar.	6.0 h/día	OK	2100 Wh
1	Ventilador	60 W/apar.	6.0 h/día	OK	360 Wh
1	Nevera / congelación profunda	0.82 kWh/día	8.0 h/día	OK	816 Wh
1	Lavadora	800.0 W prom	2.0 h/día	OK	1600 Wh
1	Sistema de riego	1500 W/apar.	8.0 h/día	OK	12000 Wh
1	Tomacorriente	180 W/apar.	12.0 h/día	OK	2160 Wh
Consumidores en espera		1 W tot	24 h/día		24 Wh
Energía diaria total					19690 Wh/día
Energía mensual					590.7 kWh/mes

Info aparatos

Definición de consumo por:

Años Estaciones Meses

Fin de semana o uso semanal:

Usar solo durante

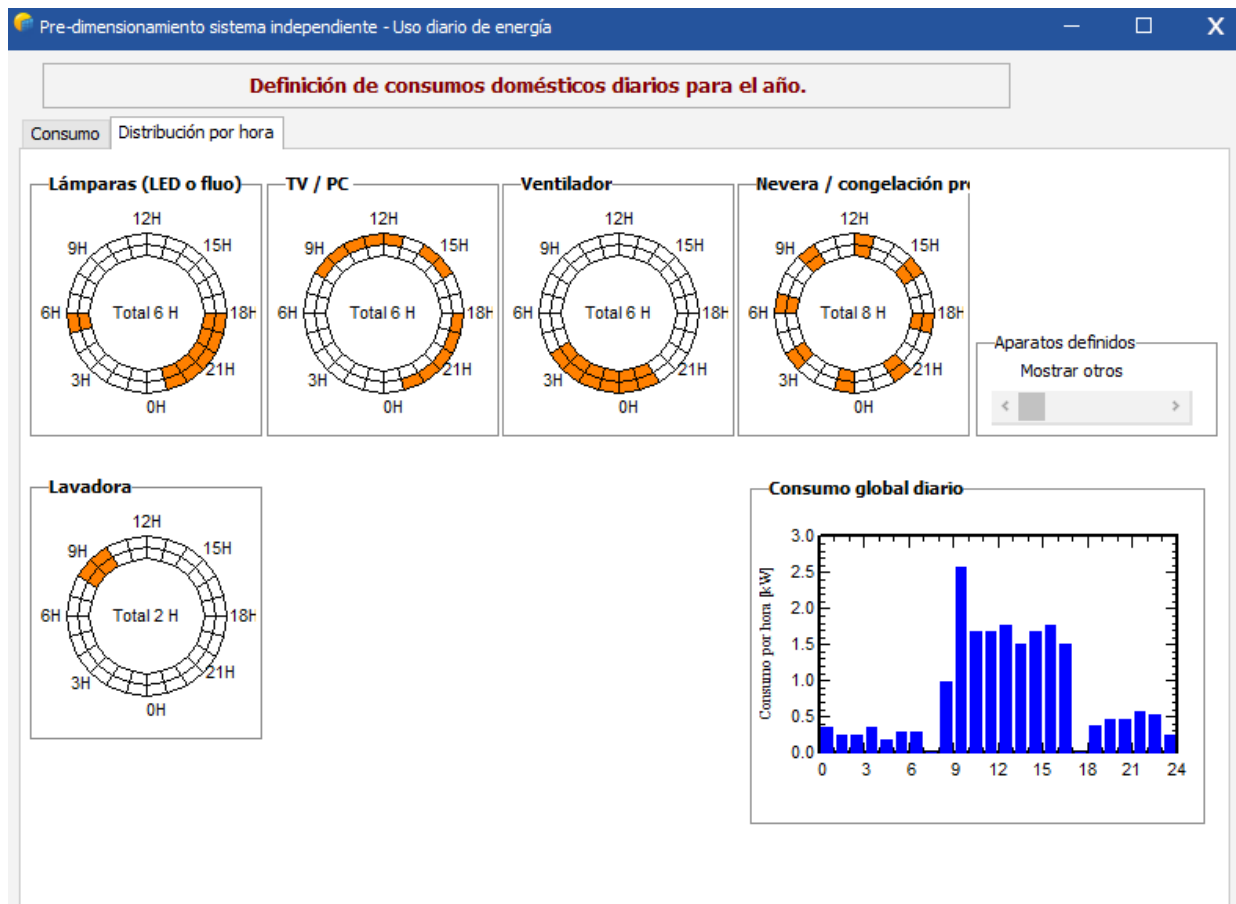
7 días en una semana

Nota. Tomado de la herramienta de Mermoud-et al., (2022).

De la Figura 12, se tienen unos relojes que se encuentran divididos en segmentos de media hora para estimar el uso de las cargas, así las lámparas led estarán encendidas entre las 6 p.m. y 11 p.m., y en la mañana a las 5 a.m.; de esta manera se construye la gráfica de consumo global diario que el software proporciona.

Figura 12

Distribución de los consumos según PVsyst



Nota. Tomado de la herramienta de Mermoud-et al., (2022).

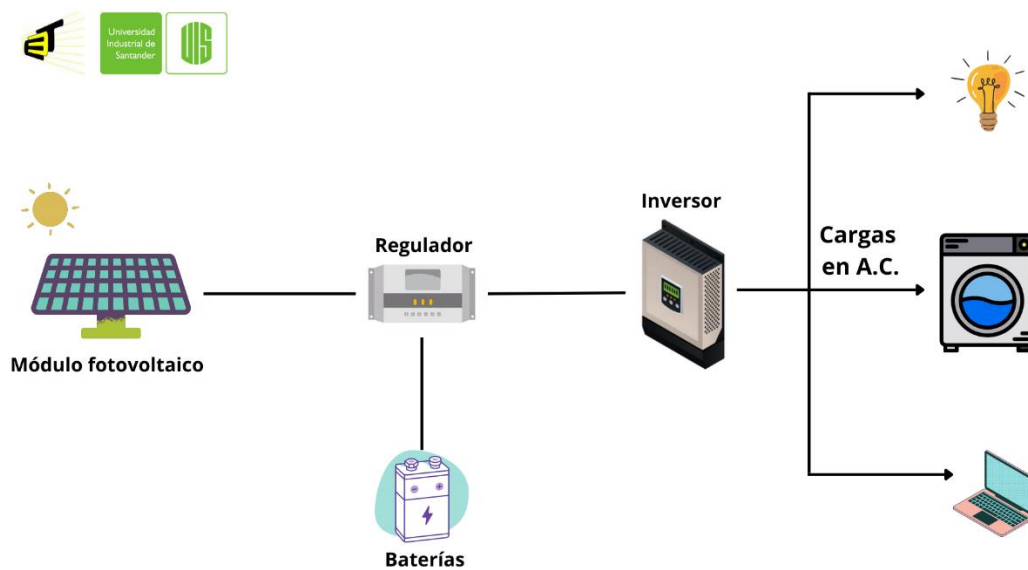
3.Determinación de Configuraciones

Este capítulo presenta información de las tecnologías que se encuentran disponibles en Colombia para los componentes de los sistemas aislados y recopilar características eléctricas, junto con los costos que ofrecen múltiples distribuidores, para determinar las configuraciones que se pueden implementar en el caso de estudio.

Los sistemas fotovoltaicos aislados tienen un esquema general compuesto por paneles, inversor, regulador y las baterías como se muestran en la Figura 13, y estos sistemas pueden estar respaldados por grupos electrógenos. Se pueden establecer configuraciones simples que operan para alimentar cargas en corriente directa y corriente alterna; según las características de los componentes se encuentran diversas opciones al momento de seleccionarlos.

Figura 13

Esquema general de un sistema fotovoltaico aislado



Nota. Fuente: Autores, 2022.

3.1. Tecnologías de Componentes en Colombia

A partir de diversas consultas se encuentran las tecnologías disponibles en el mercado actual para cada componente fotovoltaico, cada una presenta características propias que definen el funcionamiento técnico de los componentes. Con lo anterior, se decide si son propicias a utilizar en las configuraciones del caso de estudio.

Tabla 8

Tecnologías de componentes fotovoltaicos en Colombia

Componente	Tecnología	Características principales	Consideraciones
Panel fotovoltaico	Monocristalino	-Son las más eficientes alcanzando valores del 20%. -Tienen un color uniforme y oscuro. -Tienen un costo más elevado que los policristalinos.	No se tiene en cuenta debido a que la tecnología MonoPERC es más eficiente.
	Policristalino	-Eficiencia máxima del 16% -Funcionan mejor con temperaturas altas. -Es económico y abarca mayor espacio	Bajo costo y disponibilidad comercial es posible utilizarlo en una configuración.
	MonoPERC	-Mayor rendimiento, aumenta la eficiencia en la conversión y tienen mayor costo. -Mejor producción con baja radiación o luz. -Menor pérdida por coeficiente de temperatura.	Al poseer la mayor eficiencia es pertinente utilizarlo en las configuraciones.
	Halfcell Mono	-Las pérdidas por resistencia térmica se reducen. -Mitigan las pérdidas por las sombras. -Evitan la pérdida total de producción. -Logran una mayor eficiencia por panel.	Debido a su baja disponibilidad en el mercado, no es viable tener una configuración con esta tecnología.
	Halfcell Poli	-Las pérdidas por resistencia térmica se reducen. -Mitigan las pérdidas por las sombras. -Evitan la pérdida total de producción. -Logran una mayor eficiencia por panel.	Debido a su baja disponibilidad en el mercado, no es viable tener una configuración con esta tecnología.
	Regulador-controlador	PWM	-La tensión de operación de los módulos es la misma que de las baterías en todo momento. -Son más económicos. -Se utilizan con módulos de 12 y 24 V.
MPPT		-Obtienen la máxima potencia en cada instante de tiempo. -En este tipo de reguladores no pueden superar la máxima tensión admisible. -La corriente de carga es diferente a la corriente del generador fotovoltaico.	Obtienen la máxima potencia de los módulos en cada instante de tiempo, por esto es adecuado el uso en las configuraciones.

Inversor	Onda modificada	<ul style="list-style-type: none"> -Poseen baja eficiencia -Simula una onda sinusoidal -No todos los equipos eléctricos son compatibles. 	Este tipo de inversor no es compatible con algunas cargas, pero por su economías y disponibilidad se tienen en cuenta.
	Onda sinusoidal pura	<ul style="list-style-type: none"> -Generan tensión y frecuencia con precisión y exactitud. -Genera la onda más pura que la misma red eléctrica. -Es compatible con cualquier aparato eléctrico que funcione con corriente alterna. 	Es viable tener configuraciones con este tipo de inversor por la compatibilidad que dispone a todo tipo de carga alterna.
Inversor 3 en 1	Inversor-cargador-regulador	<ul style="list-style-type: none"> -Tienen la principal función de mantener cargadas las baterías, invertir la onda voltaje y al mismo tiempo regular la tensión. -En el caso en el que la carga de las baterías este bajo, se puede conectar un grupo electrógeno. 	Debido a su versatilidad, es una opción llamativa para una configuración que tenga respaldo.
Baterías	GEL	<ul style="list-style-type: none"> -Poseen ciclos de descarga profundo que pueden alcanzar hasta 800 ciclos de vida. -No precisan de mantenimiento. -Gran resistencia frente a la profundidad de descarga. -Su rendimiento es mayor en climas cálidos. 	Por la gran disponibilidad de este tipo de baterías en el mercado y buenos ciclos de descarga, estas baterías se pueden tener en consideración.
	AGM	<ul style="list-style-type: none"> -No requieren de mantenimiento. -Poseen un alto rendimiento y bajas tasas de descarga. -Soportan mejor los arranques en frío. -Tiempo de carga es muy rápido -Vida útil larga. 	Debido a que estas baterías presentan características similares a las de Gel, no se tienen en cuenta en las configuraciones.
	Estacionarias	<ul style="list-style-type: none"> -Presentan una vida útil más extensa en comparación con las demás. -Tienen grandes capacidades de acumulación con muy baja tensión. 	Debido a su gran capacidad de acumulación es pertinente tenerlas en consideración para el análisis.
	Litio	<ul style="list-style-type: none"> -Tiene una larga vida útil -Mayor resistencia a la descarga profunda. -Tienen gran capacidad de almacenamiento. -Deben instalarse donde no sufran cambios bruscos de temperatura. -Tienen una alta eficiencia. -No emiten gases, permitiendo su instalación en cualquier lugar. 	Según la gran demanda de litio en los mercados internacionales de los últimos años, los costos de estas baterías suelen ser bastante elevados, pero presentan buenas características técnicas con respecto a las otras, y es adecuado tenerlas en cuenta.

Nota. Fuente: Autores, 2022.

A nivel nacional se distinguen comercialmente diferentes tecnologías para cada componente y se consideran aptas para cualquier tipo de consumo, éstas varían esencialmente en sus características eléctricas y electrónicas, materiales de construcción, capacidades y tamaños.

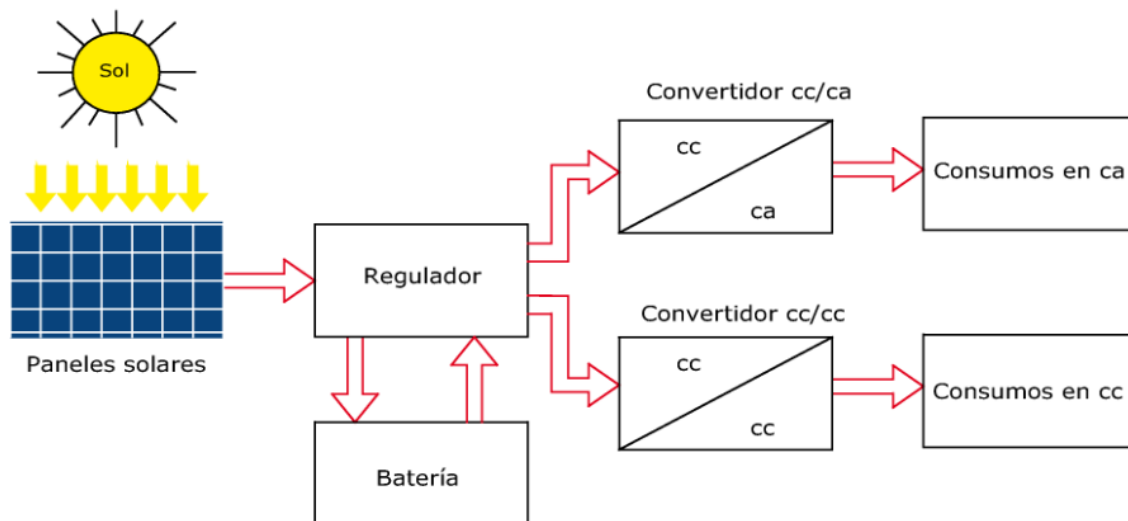
3.2. Configuraciones

Una vez identificadas las tecnologías disponibles en el mercado nacional, se establecen los esquemas que se puedan implementar en el dimensionado de los sistemas aislados. Una configuración fotovoltaica está compuesta básicamente por: paneles, inversores, reguladores o controladores, baterías, cableado y protecciones. Este tipo de configuración se representa en la

Figura 14:

Figura 14

Configuración fotovoltaica independiente



Nota. Tomado de Instalaciones solares fotovoltaicas (Tobajas, 2014, fig. 2.1).

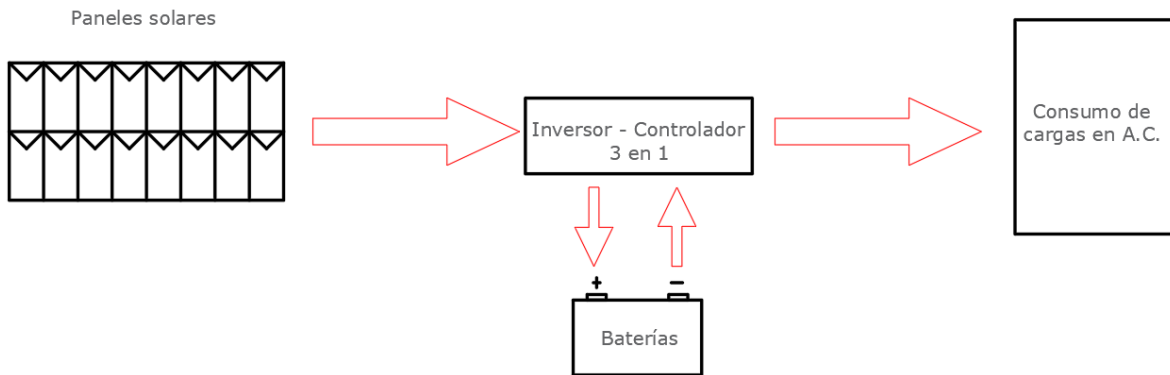
En lo anterior, se evidencia que una configuración puede enfocarse en distribuir el consumo de las cargas poniendo en disposición dos convertidores que difieren en sus salidas. Dependiendo del uso que tenga la instalación puede ser en alterna o en directa, o ambas.

En el mercado se presenta un dispositivo que combina las funcionalidades de los componentes (inversor, cargador y regulador), y dan la posibilidad de reducir el tamaño de la instalación junto con mayor soportabilidad de energía aumentando la eficiencia. Esta

configuración se representa en el esquema de la Figura 15. Este dispositivo puede tener la capacidad recibir energía de una fuente alterna de un grupo electrógeno, dando la oportunidad de implementar una configuración con respaldo, como se aprecia en la Figura 16.

Figura 15

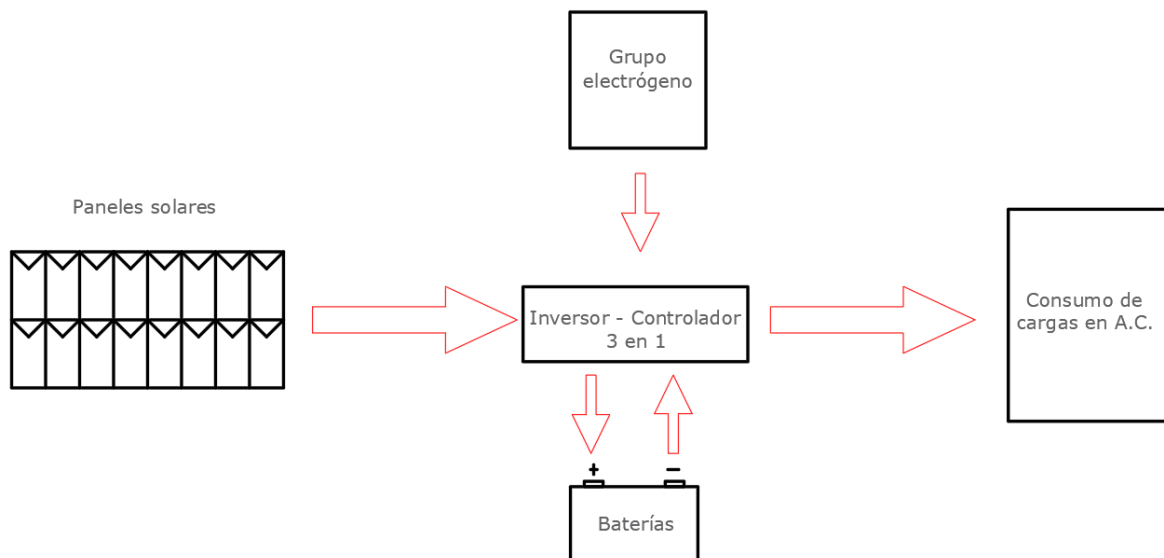
Configuración fotovoltaica con inversor 3 en 1



Nota. Fuente: Autores, 2022.

Figura 16

Configuración fotovoltaica con inversor 3 en 1 y grupo electrógeno



Nota. Fuente: Autores, 2022.

En concordancia con las configuraciones presentadas con sus diferentes tecnologías de componentes se puede obtener un total de 120 combinaciones posibles, lo cual es un número elevado de opciones por lo que se reduce de acuerdo con unos criterios específicos:

En principio, la disponibilidad de tecnologías que facilite su acceso en el mercado, por ende, se reducen los tipos de paneles a dos tecnologías las cuales son: MonoPerc y Policristalino, que se encuentran en múltiples distribuidores con precios competitivos. Lo anterior reduce las combinaciones a 48 posibilidades.

Luego se realiza un filtro en los acumuladores para identificar un mejor rendimiento en los sistemas fotovoltaicos a largo plazo, con esto se encuentra que las tecnologías de AGM y Gel son similares, pero en el caso del Gel sus características permiten un funcionamiento más favorable por lo que no se tiene en cuenta la tecnología AGM; con esto se disminuye a 36 las configuraciones como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 9

Configuraciones posibles para el caso de estudio

CONFIGURACIÓN	N°	PANELES	CONTROLADOR	INVERSOR	BATERÍAS	GRUPO ELECTROGENO
INDEPENDIENTE	1	Poli	PWM	Onda pura	Gel	N/A
	2	MonoPerc	PWM	Onda pura	Gel	N/A
	3	Poli	MPPT	Onda pura	Gel	N/A
	4	MonoPerc	MPPT	Onda pura	Gel	N/A
	5	Poli	PWM	Onda pura	Estacionarias	N/A
	6	MonoPerc	PWM	Onda pura	Estacionarias	N/A
	7	Poli	MPPT	Onda pura	Estacionarias	N/A
	8	MonoPerc	MPPT	Onda pura	Estacionarias	N/A
	9	Poli	PWM	Onda pura	Litio	N/A
	10	MonoPerc	PWM	Onda pura	Litio	N/A
	11	Poli	MPPT	Onda pura	Litio	N/A
	12	MonoPerc	MPPT	Onda pura	Litio	N/A
	13	Poli	PWM	Onda modificada	Gel	N/A
	14	MonoPerc	PWM	Onda modificada	Gel	N/A
	15	Poli	MPPT	Onda modificada	Gel	N/A

	16	MonoPerc	MPPT	Onda modificada	Gel	N/A
	17	Poli	PWM	Onda modificada	Estacionarias	N/A
	18	MonoPerc	PWM	Onda modificada	Estacionarias	N/A
	19	Poli	MPPT	Onda modificada	Estacionarias	N/A
	20	MonoPerc	MPPT	Onda modificada	Estacionarias	N/A
	21	Poli	PWM	Onda modificada	Litio	N/A
	22	MonoPerc	PWM	Onda modificada	Litio	N/A
	23	Poli	MPPT	Onda modificada	Litio	N/A
	24	MonoPerc	MPPT	Onda modificada	Litio	N/A
INVERSOR 3 EN 1	25	Poli	Inversor 3 en 1		Gel	N/A
	26	MonoPerc	Inversor 3 en 1		Gel	N/A
	27	Poli	Inversor 3 en 1		Estacionarias	N/A
	28	MonoPerc	Inversor 3 en 1		Estacionarias	N/A
	29	Poli	Inversor 3 en 1		Litio	N/A
	30	MonoPerc	Inversor 3 en 1		Litio	N/A
INVERSOR 3 EN 1 CON RESPALDO	31	Poli	Inversor 3 en 1		Gel	SI
	32	MonoPerc	Inversor 3 en 1		Gel	SI
	33	Poli	Inversor 3 en 1		Estacionarias	SI
	34	MonoPerc	Inversor 3 en 1		Estacionarias	SI
	35	Poli	Inversor 3 en 1		Litio	SI
	36	MonoPerc	Inversor 3 en 1		Litio	SI

Nota. Fuente: Autores, 2022.

Para el caso de estudio se requiere desarrollar soluciones a partir de las configuraciones propuestas de la Tabla 9, de las cuales se busca las combinaciones de las diferentes tecnologías para comparar sus rendimientos en relación con sus costos; para esto se eligen 5 configuraciones, tres independientes, dos con un inversor 3 en 1 de las cuales una tiene un grupo electrógeno de respaldo.

La primera y la segunda configuración independiente se seleccionan dando más importancia a las características técnicas de cada tecnología para que en conjunto se obtenga el mejor rendimiento, diferenciándolas por sus acumuladores, esto por lo que hay dos tecnologías que presentan alta capacidad de almacenamiento. La tercera configuración independiente se elige

con base a tecnologías originarias que para la actualidad presentan un costo reducido. La cuarta configuración con un inversor 3 en 1 combinada con componentes económicos, pero de bajas prestaciones. La quinta se tiene designada para dar una mayor seguridad al suministro energético de la instalación por lo que es necesario un respaldo, junto con componentes que brinden un buen rendimiento con relación a su precio. Las 5 configuraciones seleccionadas se encuentran en la Tabla 10.

Tabla 10

Configuraciones seleccionadas

PANELES	CONTROLADOR	INVERSOR	BATERÍAS	GRUPO ELECTRÓGENO
MonoPerc	MPPT	Onda pura	Estacionarias	N/A
MonoPerc	MPPT	Onda pura	Litio	N/A
Poli	PWM	Onda modificada	Gel	N/A
Poli	N/A	Inversor 3 en 1	Gel	N/A
MonoPerc	N/A	Inversor 3 en 1	Estacionarias	SI

Nota. Fuente: Autores, 2022.

Con la selección de las configuraciones se realiza el dimensionamiento y análisis de las soluciones, esto con base a las consultas en distintos distribuidores de componentes.

4.Dimensionamiento de Sistemas Fotovoltaicos

Para realizar los cálculos necesarios para un sistema fotovoltaico es necesario conocer la energía consumida por el usuario rural, para con ello calcular el número de paneles, la capacidad de las baterías y qué tan robusto es el inversor y controlador. Además de lo anterior, conocer previamente la irradiación de cada mes y diversas condiciones climáticas.

El punto de partida del dimensionamiento es por medio del método de peor mes de irradiación para garantizar el suministro energético a lo largo del año y según lo estudiado el mes con peor irradiación se sitúa en junio con un valor promedio de 4.46 HSP, información que se

toma de la Figura 3. Se seleccionan distintos componentes a partir de las características técnicas y costos que se consultaron en distribuidores nacionales (Apéndice G).

En primer lugar, a partir del cuadro de cargas en donde se especifica el consumo diario, la carga instalada y la demanda calculada, se inicia el proceso de dimensionamiento de los componentes por medio del rendimiento global de la instalación, que depende de unas condiciones que caracterizan el funcionamiento de los equipos y se discriminan en coeficientes.

Estos coeficientes son:

k_b = factor de pérdidas en baterías.

k_i = factor de pérdidas en inversores.

k_r = factor de pérdidas en reguladores.

k_v = otras pérdidas.

k_a = factor de pérdidas por autodescarga de baterías.

N = número de días de autonomía.

P_d = profundidad máxima de descarga de baterías.

Los valores comunes para esos coeficientes se pueden apreciar en la siguiente tabla:

Tabla 11

Coefficientes de rendimiento global

Pérdidas en el proceso de acumulación	k_b
Acumuladores nuevos, sin descargas intensas	0.05
Acumuladores viejos, descargas intensas	0.1
Pérdidas en el controlador de carga	k_r
Controlador de carga eficiente MPPT	0.1
Controlador de carga antiguo, poco eficiente PWM	0.15
Autodescarga de la batería	k_a
Baterías de baja autodescarga, sin mantenimiento	0.002
Baterías estacionarias de energía solar	0.005

Baterías de alta autodescarga	0.012
Pérdidas por el rendimiento del inversor	ki
No hay inversor en la instalación	0.002
Rendimiento inversor 95%	0.005
Rendimiento inversor 90%	0.012
Rendimiento inversor 85%	0.15
Rendimiento inversor <85%	0.2
Otras pérdidas no consideradas	kv
Si no se han tenido en cuenta pérdidas en el cableado y equipos	0.1
Si ya se ha realizado un estudio detallado de pérdidas	0.05
Profundidad de descarga máxima admisible	Pd
Batería descargada hasta el 90%	0.9
Batería descargada hasta el 80%	0.8
Batería descargada hasta el 70%	0.7
Batería descargada hasta el 60%	0.6
Batería descargada hasta el 50%	0.5
Batería descargada hasta el 40%	0.4
Batería descargada hasta el 30%	0.3
Número de días de autonomía	N
Vivienda fines de semana	3
Vivienda habitual	5
Instalaciones especiales con servicio prioritario	15
Instalaciones especiales alta fiabilidad	20

Nota. Tomado de Alvarado Ladrón de Guevara, (2018, pp. 45–47).

Para calcular el rendimiento global se usa la siguiente expresión:

$$R = (1 - kb - ki - kr - kv) * (1 - ka * N/Pd)$$

En segundo lugar, la selección de componentes debe tener en cuenta las consultas realizadas en los diferentes distribuidores, esto con el fin de conocer las características técnicas, modelos, costos y disponibilidad; para conformar las soluciones, las cuales se determinan a partir de las configuraciones establecidas en la Tabla 10. Para cada solución es necesario establecer la energía diaria necesaria y la tensión a la cual va a operar el sistema que puede ser de 12, 24 o 48 V.

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

En tercer lugar, se realiza el cálculo para cada componente, para el número de paneles se utiliza la siguiente expresión:

$$N^{\circ} \text{ de paneles} = \frac{E}{HSP * P_{panel}}$$

Donde se requiere conocer las horas solar pico (HSP), la energía diaria necesaria (E) y la potencia del panel (Ppanel). Para el cálculo del regulador se necesita conocer la corriente mínima que debe soportar que proviene de la corriente máxima de cada panel y se agrega un factor de seguridad del 10%:

$$I_{min} \text{ del regulador} = N^{\circ} \text{ de paneles en paralelo} * I_{mp} * 110\%$$

Luego se verifica la potencia instalada de los paneles para saber la cantidad necesaria de reguladores:

$$N^{\circ} \text{ de reguladores} = \frac{N^{\circ} \text{ de paneles} * P_{panel}}{P_{regulador}}$$

Para el cálculo de los acumuladores, es importante reconocer que no es posible dimensionar las baterías para almacenar todo el consumo del usuario para los días de autonomía previstos por la alta cantidad de energía necesaria; por consiguiente, se busca acumular la energía de los dispositivos imprescindibles del hogar que se estima en 4151 Wh y para garantizar una mayor confiabilidad se toma el rendimiento global (R) como factor de seguridad, con lo cual se dimensiona la capacidad y cantidades de la siguiente manera:

$$Eb = \frac{4151 \text{ Wh}}{R}$$

$$\text{Capacidad de acumulación} = \frac{Eb * \text{días autonomía}}{\text{Profundidad de descarga}} \text{ Wh}$$

$$N^{\circ} \text{ baterías} = \frac{\text{Capacidad de acumulación}}{\text{Capacidad de batería}}$$

En el cálculo del inversor es importante la carga instalada simultánea de la instalación que se encuentra en la Tabla 5, más un 20% adicional y la potencia pico de arranque de los motores que se calcula agregando un valor de 3 veces la potencia nominal.

$$\text{Potencia del inversor} = \text{Carga instalada simultánea} * 120\%$$

$$\text{Potencia pico} = (3 * P_{\text{motor}}) + (\text{Carga instalada simultánea} - P_{\text{motor}})$$

Ahora bien, se tiene que calcular el cableado de cada tramo de la instalación. Para el cálculo se tiene en cuenta las condiciones eléctricas de cada sección, valores como la tensión y la intensidad de corriente influyen en la selección de un calibre, así como la longitud y material del conductor. Hay dos maneras de seleccionar un calibre: la primera es con el cálculo de la sección transversal y la segunda es por ampacidad del tramo. La sección transversal por definición es:

$$s = \frac{2 * \ell * I}{\Delta V * k}$$

Donde:

s = sección del conductor

ℓ = longitud del cable

I = Intensidad máxima de corriente en el conductor

ΔV = caída de tensión permitida en el tramo

k = conductividad eléctrica del cable

Para todas las soluciones el material del conductor es cobre y su conductividad es 56 m/Ω-mm². Según lo establecido por el RETIE en el numeral 27.3, establece que la regulación en la acometida no debe superar el 3%.

Todos los cálculos de cada solución se encuentran en el Apéndice F, siguiendo la metodología planteada.

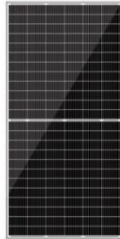

4.1. Primera Solución



De acuerdo con la primera configuración establecida se seleccionan los componentes que cumplen con las necesidades energéticas. Esta selección se hace por medio de hojas de Excel que facilitan el cálculo de las cantidades y disposiciones de los componentes.

Una vez consolidada la solución, es importante conocer las características de cada uno de los equipos, por lo que se establece el listado del sistema fotovoltaico a través de la siguiente tabla:

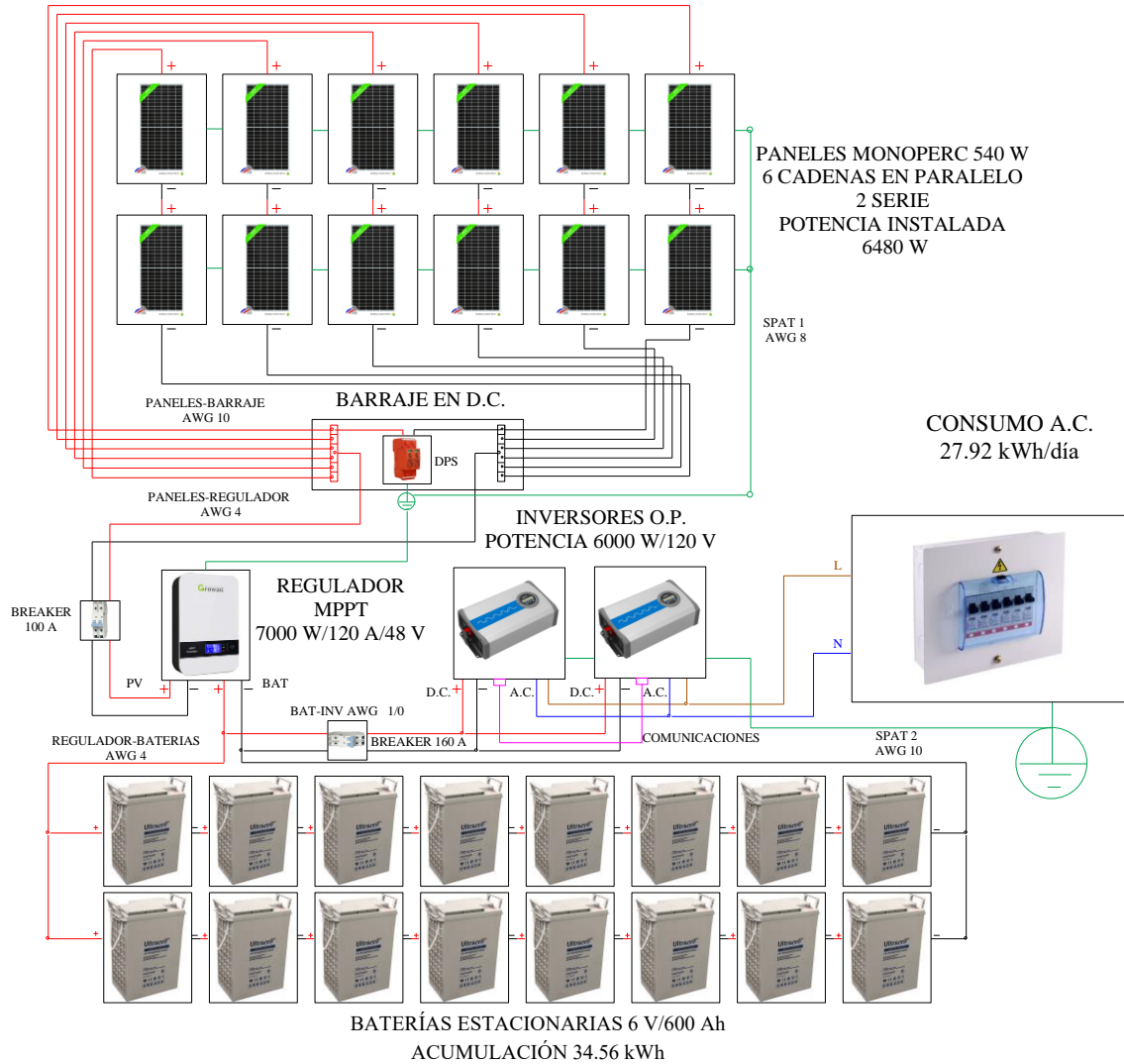
Tabla 12

Componentes seleccionados para la primera solución

Componente	Imagen	Modelo	Características	
Paneles		EcoGreen 540 W	Potencia [W]	540
			Eficiencia %	21.1
			Vnom [V]	24
			Vmp [V]	41.2
			Imp [A]	13.11
			Voc [V]	49.4
			Isc [A]	13.87
			Precio	\$ 608,350
Reguladores		Growatt MPPT 120 A 12-24-48 V	Voltaje Sist [V]	12/24/48
			Corriente [A]	120
			Pmáx [W]	1750/3500/7000
			Precio	\$ 1,401,728

Baterías		Ultracell EST-600 Ah	Capacidad [Ah]	600
			Voltaje [V]	6
			Precio	\$ 1,949,220
Inversores		Epever 48 V 3000 W 120 V	Voltaje Entrada [V]	48
			Voltaje Salida [V]	120
			Eficiencia %	95%
			Potencia [W]	3000
			Precio	\$ 1,940,000

A partir del listado de componentes, se construye el esquema general de la instalación que ilustra las cantidades, tecnologías y disposiciones de los equipos, además muestra información sobre calibres de conductores, protecciones y conexiones para el sistema de puesta a tierra que se requieren para la primera solución. Este esquema da una visión amplia y cercana a la realidad del dimensionamiento.

Figura 17*Esquema del dimensionado de componentes de la primera solución*

Nota. Fuente: Autores, 2022.

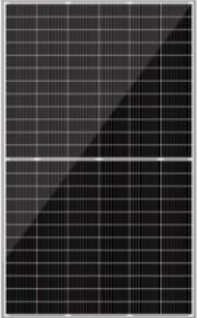



4.2.Segunda Solución

En la búsqueda de consolidar una solución acorde a las tecnologías de la segunda configuración, se evidencia que la selección de equipos es idéntica a la anterior solución debido a que comparten las mismas tecnologías con una excepción en las baterías. El listado de

componentes que soportan la tensión del sistema y cumplen con las condiciones necesarias es el siguiente:

Tabla 13

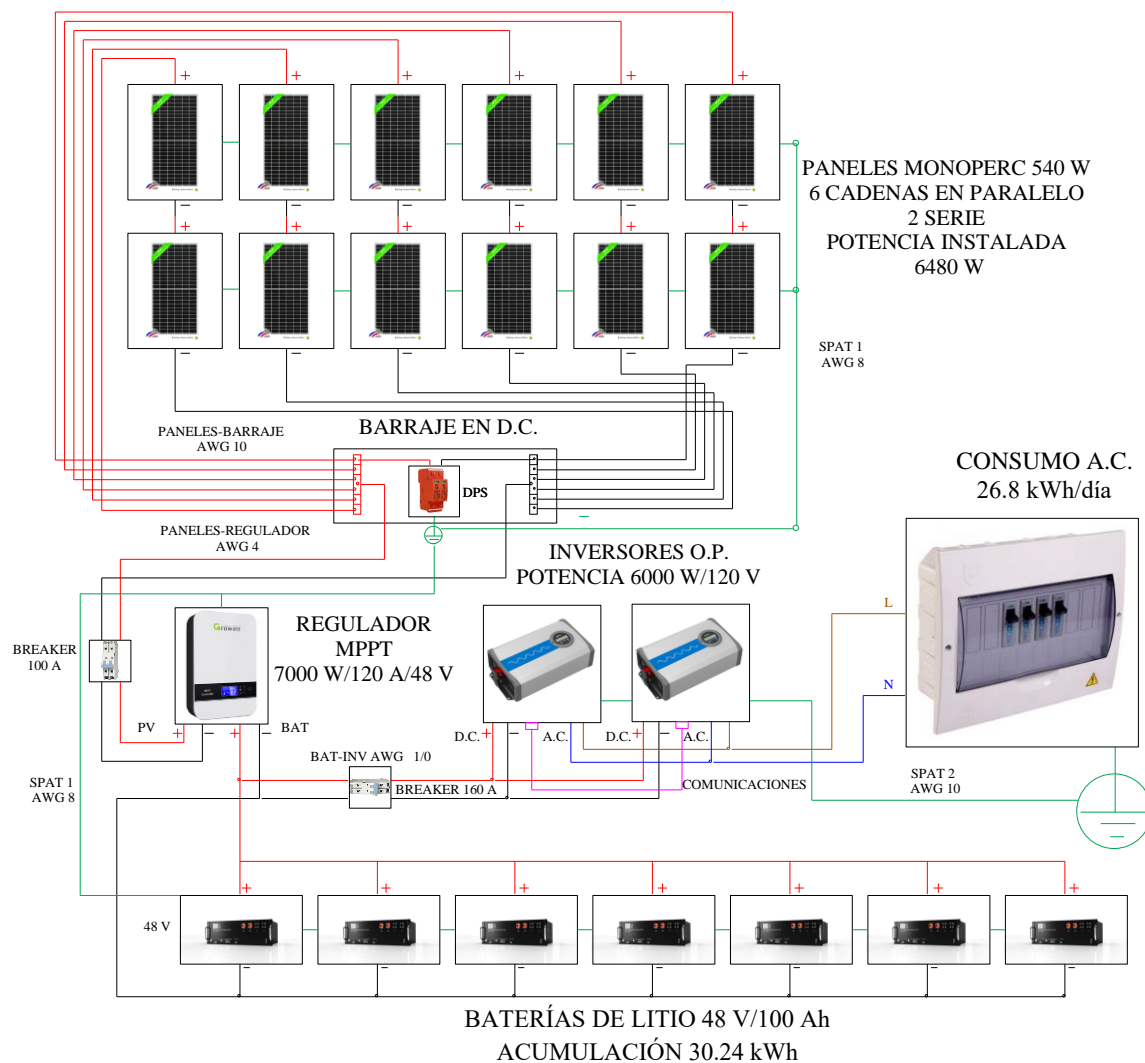
Componentes seleccionados para la segunda solución

Componente	Imagen	Modelo	Características	
Paneles		EcoGreen 540 W	Potencia [W]	540
			Eficiencia %	21.1
			Vnom [V]	24
			Vmp [V]	41.2
			Imp [A]	13.11
			Voc [V]	49.4
			Isc [A]	13.87
			Precio	\$ 608,350
Reguladores		Growatt MPPT 120 A 12-24-48 V	Voltaje Sist [V]	12/24/48
			Corriente [A]	120
			Pmáx [W]	1750/3500/7000
			Precio	\$ 1,401,728
Baterías		Next City LITIO 100 Ah	Capacidad [Ah]	100
			Voltaje [V]	48
			Precio	\$ 9,453,360
Inversores		Epever 48 V 3000 W 120 V	Voltaje Entrada [V]	48
			Voltaje Salida [V]	120
			Eficiencia %	95%
			Potencia [W]	3000
			Precio	\$ 1,940,000

En la Figura 18 se encuentra el esquema general de la instalación, donde se identifican las cantidades con la información pertinente de los componentes seleccionados. Cabe resaltar que en elaboración del esquema es necesario fijar un barraje que confluye la conexión de los paneles para dirigirla al regulador de carga.

Figura 18

Esquema del dimensionado de componentes para la segunda solución






Nota. Fuente: Autores, 2022.


4.3.Tercera Solución

En la tercera solución se presenta un cambio importante de tecnologías que impactan directamente el rendimiento global de la instalación, esto se debe a la eficiencia de los componentes en los procesos de conversión de la energía. Esta solución cuenta con un número mayor de equipos por su baja capacidad para suplir la demanda requerida por el usuario, pero aun así no deja de ser una alternativa para tener en cuenta. En el listado de la Tabla 14 se puede apreciar las imágenes de los equipos con sus características.

Tabla 14

Componentes seleccionados para la tercera solución

Componente	Imagen	Modelo	Características	
Paneles		Znshine Solar 345W	Potencia [W]	345
			Eficiencia %	17.39
			Vnom [V]	24
			Vmp [V]	38.5
			Imp [A]	9.1
			Voc [V]	47
			Isc [A]	9.28
			Precio	\$ 528,000
Reguladores		SRNE PWM 60 A 12-24 V	Voltaje Sist [V]	12/24
			Corriente [A]	60
			Pmáx [W]	1100/2200
			Precio	\$ 219,000
Baterías		Ultracell GEL 316Ah	Capacidad [Ah]	316
			Voltaje [V]	12
			Precio	\$ 1,666,000




Inversores		Paco OM 24 V 3000 W 110 V	Voltaje Entrada [V]	24
			Voltaje Salida [V]	110
			Eficiencia %	90%
			Potencia [W]	3000
			Precio	\$1,201,500

Luego del dimensionamiento se elabora el esquema de la solución donde se muestra información de los resultados de los cálculos y se evidencia unas disposiciones diferentes a las anteriores. Para esta solución se tienen unas protecciones más robustas que se adecuan a las intensidades de corriente que circulan por la instalación. En la Figura 19 se aprecia en detalle la cantidad y disposiciones de cada componente.

positivamente en la simplicidad de las conexiones y la selección de protecciones. En la Tabla 15 se encuentra la información de los componentes que en conjunto cumplen con la selección de las tecnologías de la configuración y pueden soportar las características necesarias.

Tabla 15

Componentes seleccionados para la cuarta solución

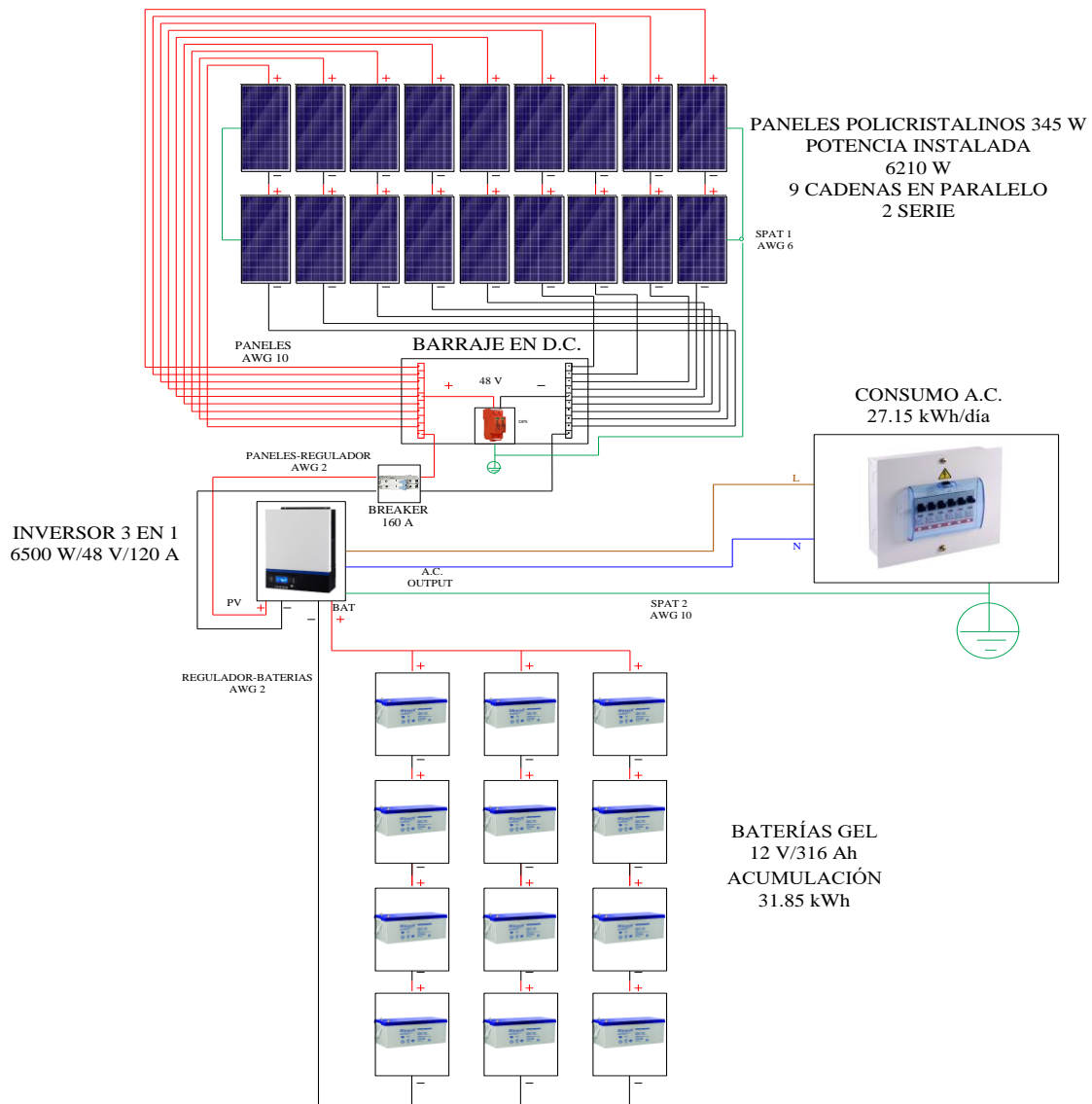
Componente	Imagen	Modelo	Características	
Paneles		Znshine Solar 345 W	Potencia [W]	345
			Eficiencia %	17.39
			Vnom [V]	24
			Vmp [V]	38.5
			Imp [A]	9.1
			Voc [V]	47
			Isc [A]	0
			Precio	\$ 528,000
Inversor 3 en 1		Voltronic 6500 W 48 V 120 A	Voltaje Vdc/Vac [V]	48/120
			Corriente [A]	120
			Pmáx PV [W]	8000
			Pmáx Inv [W]	6500
			Idc/Iac [A]	120/120
			Eficiencia	93%
			Precio	\$ 5,430,000
			Baterías	
Voltaje [V]	12			
Precio	\$ 1,666,000			

Nota. Fuente: Autores, 2022.

La información de las cantidades y disposiciones calculadas de los equipos para este sistema fotovoltaico, se pueden apreciar en el esquema de la Figura 20.

Figura 20

Esquema de dimensionado de componentes para la cuarta solución



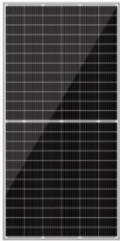

Nota. Fuente: Autores, 2022.



4.5. Quinta Solución

Según las tecnologías de la quinta configuración, esta solución se caracteriza por tener de respaldo un grupo electrógeno que aumenta la confiabilidad del sistema considerablemente. Esta solución comparte la simplicidad de la anterior configuración al tener un inversor 3 en 1, así como la tecnología MonoPerc de la primera configuración, esto brinda un buen rendimiento que se ve reflejado en las cantidades de los componentes. En la siguiente tabla se encuentran las características de los equipos seleccionados para esta solución.

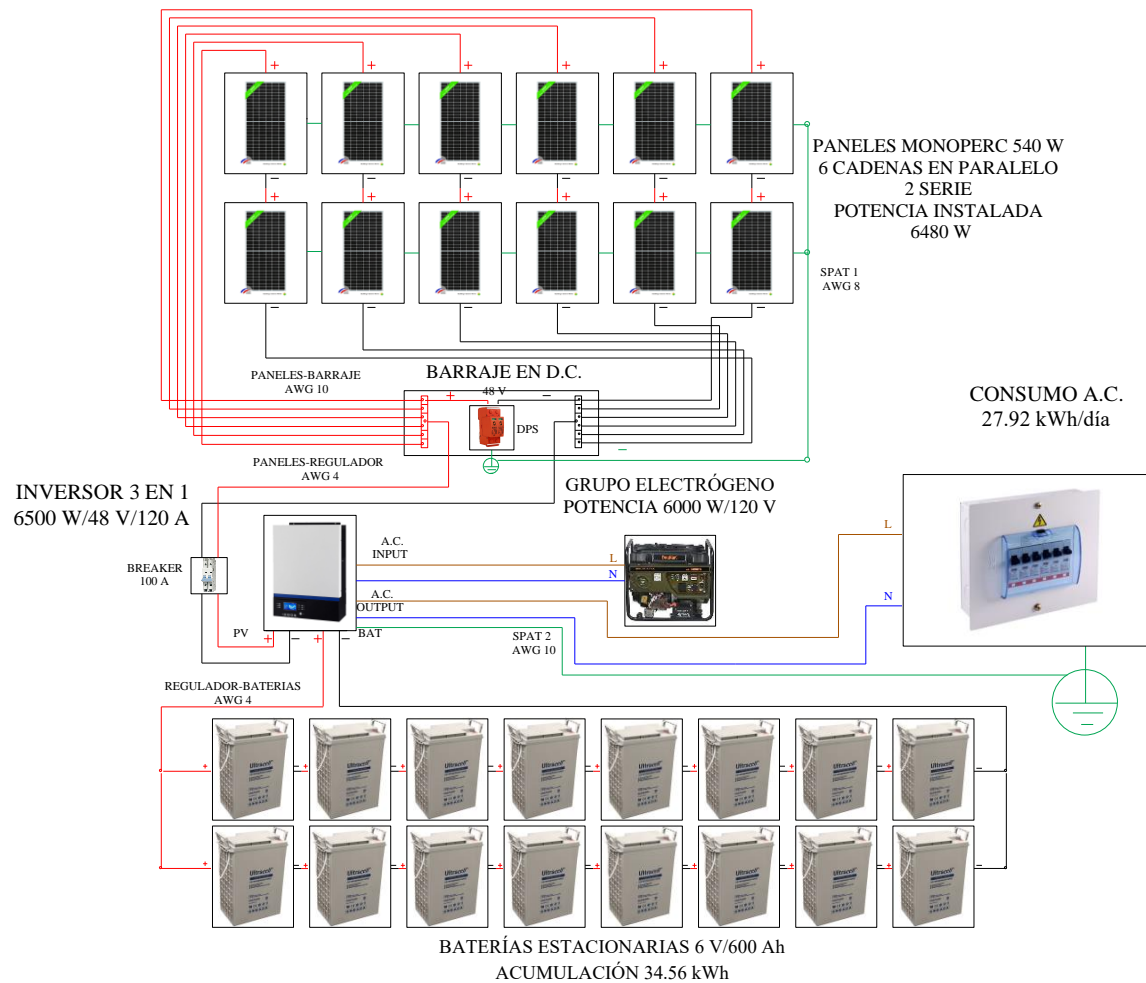
Tabla 16

Componentes seleccionados para la quinta solución

Componente	Imagen	Modelo	Características	
Paneles		EcoGreen 540W	Potencia [W]	540
			Eficiencia %	21.1
			Vnom [V]	24
			Vmp [V]	41.2
			Imp [A]	13.11
			Voc [V]	49.4
			Isc [A]	13.87
			Precio	\$ 608,350
Inversor 3 en 1		Voltronic 6500W 48V 120A Controlador MMPT Inversor Onda Pura	Voltaje Vdc/Vac [V]	48/120
			Corriente [A]	120
			Pmáx PV [W]	8000
			Pmáx Inv [W]	6500
			Idc/Iac [A]	120/120
			Eficiencia	93%
			Precio	\$ 5,430,000

Baterías		Ultracell EST-600Ah	Capacidad [Ah]	600
			Voltaje [V]	6
			Precio	\$ 1,949,220
Grupo Electrónico		Bauker 6000W 110V	Potencia [W]	6000
			Voltaje [V]	110
			Autonomía [h]	8.5
			Regulador	SI
			Precio	\$2,999,900

Los resultados del dimensionamiento de la solución se encuentran en la Figura 21 con las respectivas disposiciones de cada componente y las prestaciones que puede aportar el sistema de respaldo.

Figura 21*Esquema de dimensionado de componentes para la quinta solución**Nota. Fuente: Autores, 2022.*

5. Análisis y Viabilidad Técnico-Financiera de las Soluciones

En el dimensionado de componentes se puede evidenciar diferencias entre las distintas soluciones planteadas a causa de las tecnologías utilizadas, así mismo las prestaciones técnicas y

el impacto financiero de cada solución varían entre sí por lo cual es importante realizar un análisis sobre las soluciones.

5.1. Análisis Técnico

Una vez establecidas las soluciones, se tiene una recopilación de los resultados a partir de los dimensionamientos. En la Tabla 17 se identifican parámetros técnicos con los cuales se puede hacer la comparación.

Tabla 17

Comparación de resultados técnicos de las soluciones

Solución	1	2	3	4	5
Energía diaria [Wh]	27926.48	26809.29	29123.91	27150.74	27926.48
Tensión del sistema [V]	48	48	24	48	48
Cantidad de paneles	12	12	19	18	12
Capacidad instalada	6480	6480	6555	6210	6480
Cantidad de reguladores	1	1	4	-	-
Cantidad de baterías	16	7	12	12	16
Capacidad de acumulación [Wh]	34560	30240	31852.8	31852.8	34560
Capacidad de descarga	60%	90%	70%	70%	60%
Días de autonomía real	5.9	5.4	5.2	5.6	5.9
Cantidad de inversores	2	2	2	1	1
Grupo electrógeno	-	-	-	-	1
Rendimiento	70.73%	73.67%	67.82%	72.75%	70.73%

Con los datos de la Tabla 17 se observa que las soluciones 1 y 5 poseen rendimientos iguales al utilizar las mismas tecnologías, pero varían en la cantidad de equipos debido, a que los inversores 3 en 1 tienen más soporte de potencia y realizan más funciones en comparación con los reguladores e inversores independientes. En comparación a las otras soluciones éstas son las que requieren mayor cantidad de baterías y junto a la solución 2 menor cantidad de paneles.

En cuanto a la solución 2, es la que mejor rendimiento posee por lo cual requiere generar menos energía diaria, esto gracias a las características tecnológicas de sus baterías que proporcionan mayor capacidad de descarga y almacenamiento, con lo que se considera la solución con menos baterías.

La solución 3 al tener un rendimiento más bajo requiere generar más energía al día, esto como consecuencia de la eficiencia de los equipos y tecnología de los inversores por lo que es necesario utilizar una tensión más baja que en las demás soluciones, esto impacta significativamente en la robustez de los conductores y selección de las protecciones.

La solución 4 tiene unas características similares a la solución 3 debido a que utilizan las mismas tecnologías en los paneles y baterías, pero la variación de tecnología en regulador e inversor diferencia notablemente las cantidades y el rendimiento global de la instalación.

La solución 5 se destaca por ser la única que cuenta con respaldo de grupo electrógeno que en situaciones particulares puede sostener el suministro eléctrico del inversor 3 en 1 para la carga de baterías, se estima que en 4.65 horas puede abastecer la demanda diaria.

La cantidad de días de autonomía real que brindan los acumuladores de las soluciones, se pueden ver entre 5.2 a 5.9 días de abastecimiento que dependen de la tecnología de cada solución junto con el rendimiento.

5.2. Análisis Financiero

El resultado de las cantidades en los diferentes componentes de las soluciones fotovoltaicas influyen directamente en los costos de la instalación, esto es un factor relevante al momento de decidir hacia la solución más viable económicamente, por ello se tiene unos listados en tablas donde se muestra los costos iniciales de cada solución, así como también los respectivos flujos de

caja para observar el desempeño de las soluciones proyectado a 24 años, estos resultados se muestran en diagramas de columna para una mejor interpretación.

Para hacer el cálculo de la inversión inicial, se estiman los precios y cantidades de mano de obra, conductores, breakers, estructuras y tuberías según referencias encontradas en la web; en cuanto a los componentes principales se toman los valores consultados para el mes de febrero de 2022 de los diferentes distribuidores a nivel nacional, cuyas cotizaciones se encuentran en el Apéndice G.

Para la elaboración de los respectivos flujos de caja se toma la inversión inicial, luego se estima el costo de mantenimiento, dependiendo de la cantidad de equipos y la tecnología que se utilice, según la recomendación de los fabricantes se debe realizar cada dos años.

Otro parámetro importante es la vida útil de los componentes para realizar su respectivo cambio, estos periodos de uso se toman a partir de la información de la ficha técnica para cada componente y los costos de reemplazo se consideran iguales a los de la consulta (Apéndices G y H).

A continuación, se presenta la Tabla 18 para el costo inicial y diagrama de columnas que representa el flujo de caja para cada una de las soluciones.

Tabla 18

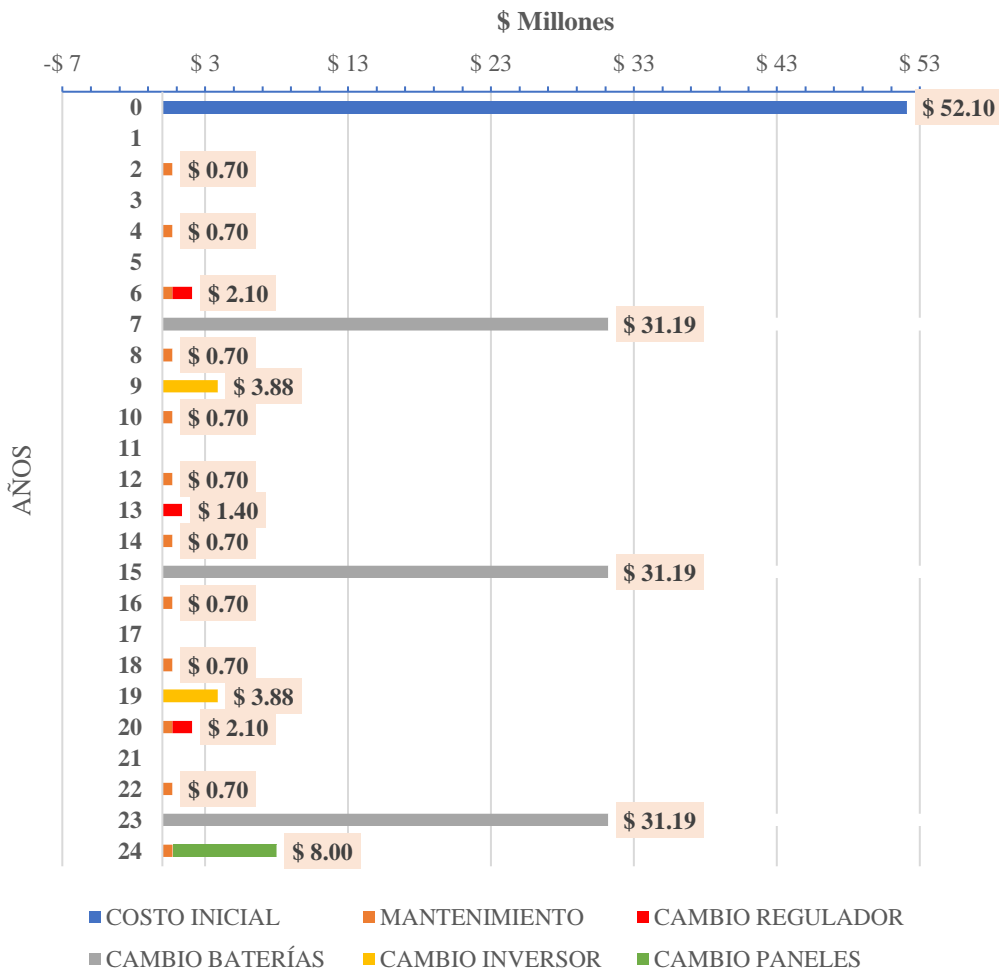
Costo inicial de la solución 1

Und	Detalle de los productos	Valor Unitario	Valor Neto
12	EcoGreen 540W	\$ 608,350	\$ 7,300,200
1	Growatt MPPT 120A 12-24-48V	\$ 1,401,728	\$ 1,401,728
16	Ultracell EST-600Ah	\$ 1,949,220	\$ 31,187,520
2	Epever 48V 3000W 120V	\$ 1,940,000	\$ 3,880,000
20	Conductor AWG 4	\$ 7,479	\$ 149,580
25	Conductor AWG 8	\$ 3,140	\$ 78,500
4	Conductor AWG 1/0	\$ 35,800	\$ 143,200
10	Conductor AWG 10	\$ 9,408	\$ 94,080
1	DPS	\$ 142,500	\$ 142,500

1	Breaker DC 100A 550V	\$ 113,000	\$ 113,000
1	Breaker DC 160A 550V	\$ 240,000	\$ 240,000
12	Estructura metálica para paneles	\$ 180,000	\$ 2,160,000
1	Repartidor de corriente en paralelo 100 A	\$ 146,965	\$ 146,965
1	Tubo de 1-1/2" X 3m	\$ 22,500	\$ 22,500
3	Tubo de 1"X3 m	\$ 13,100	\$ 39,300
	Mano de obra		\$ 5,000,000
Valor Total			\$ 52,099,073

Figura 22

Flujo de caja para solución 1



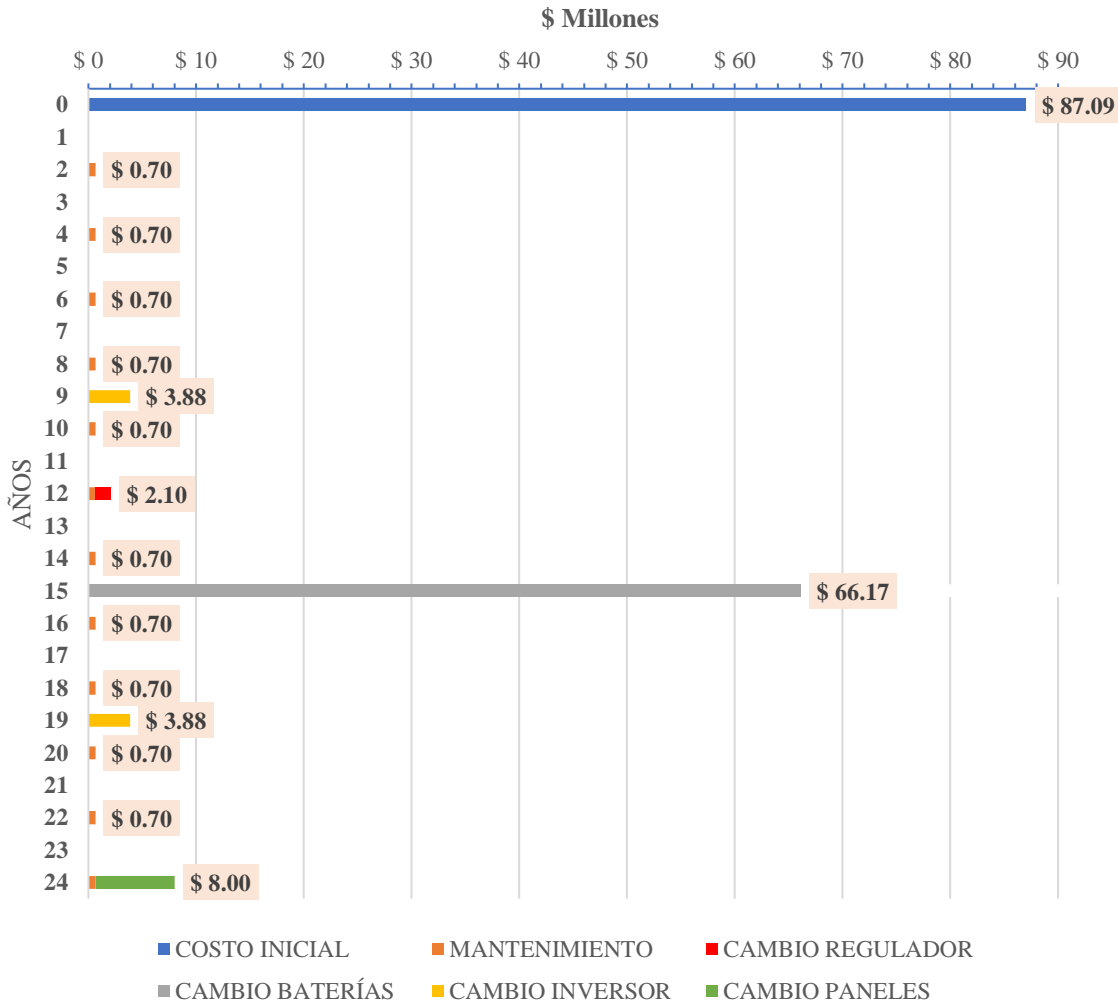
Nota. Fuente: Autores, 2022.

Tabla 19*Costo inicial de la solución 2*

Und	Detalle de los productos	Valor Unitario	Valor Neto
12	EcoGreen 540W	\$ 608,350	\$ 7,300,200
1	Growatt MPPT 120A 12-24-48V	\$ 1,401,728	\$ 1,401,728
7	Next City LITIO 100Ah	\$ 9,453,360	\$ 66,173,520
2	Epever 48V 3000W 120V	\$ 1,940,000	\$ 3,880,000
20	Conductor AWG 4	\$ 7,479	\$ 149,580
25	Conductor AWG 8	\$ 3,140	\$ 78,500
4	Conductor AWG 1/0	\$ 35,800	\$ 143,200
10	Conductor AWG 10	\$ 9,408	\$ 94,080
1	DPS	\$ 142,500	\$ 142,500
1	Breaker DC 100A 550V	\$ 113,000	\$ 113,000
1	Breaker DC 160A 550V	\$ 240,000	\$ 240,000
12	Estructura metálica para paneles	\$ 180,000	\$ 2,160,000
1	Repartidor de corriente en paralelo 100 A	\$ 146,965	\$ 146,965
1	Tubo de 1-1/2" X 3m	\$ 22,500	\$ 22,500
3	Tubo de 1"X3 m	\$ 13,100	\$ 39,300
	Mano de obra		\$ 5,000,000
Valor Total			\$ 87,085,073

Figura 23

Flujo de caja para solución 2



Nota. Fuente: Autores, 2022.

Tabla 20

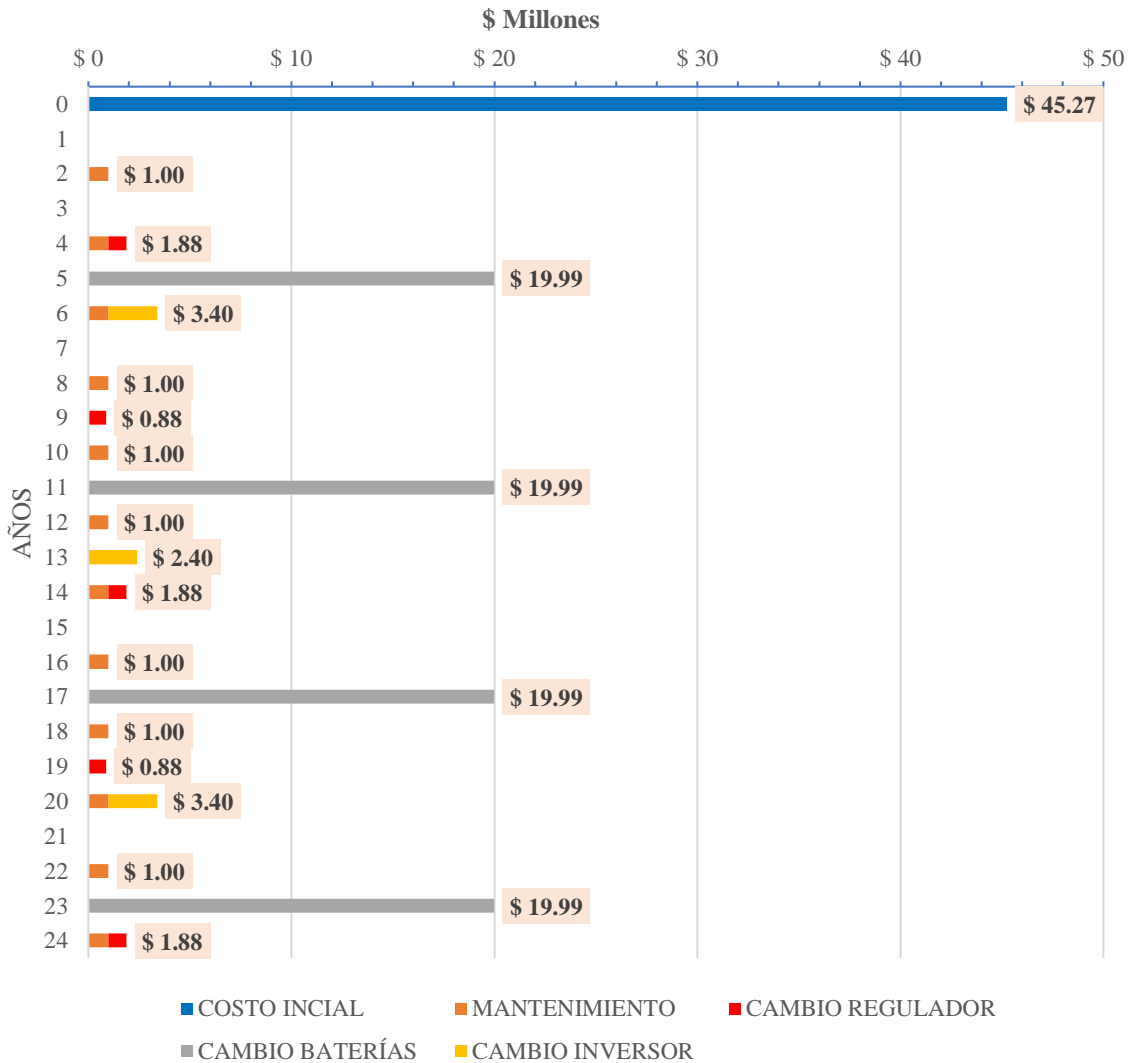
Costo inicial de la solución 3

Und	Detalle de los productos	Valor Unitario	Valor Neto
19	Znshine Solar 345W	\$ 528,000	\$ 10,032,000
4	SRNE PWM 60A 12-24V	\$ 219,000	\$ 876,000
12	Ultracell GEL 316Ah	\$ 1,666,000	\$ 19,992,000
2	Paco OM 24V 3000W 110V	\$ 1,201,500	\$ 2,403,000
20	Conductor AWG 3/0	\$ 31,000	\$ 620,000
10	Conductor AWG 10	\$ 9,408	\$ 94,080

4	Conductor AWG 250 KCMIL	\$ 44,182	\$ 176,728
25	Conductor AWG 4	\$ 7,479	\$ 186,975
1	DPS	\$ 142,500	\$ 142,500
2	Breaker DC 250A 550V	\$ 240,000	\$ 480,000
19	Estructura metálica para paneles	\$ 180,000	\$ 3,420,000
3	Repartidor de corriente en paralelo 250 A	\$ 256,000	\$ 768,000
3	Tubo de 1-1/2" X 3m	\$ 22,500	\$ 67,500
1	Tubo de 2"X3 m	\$ 13,100	\$ 13,100
	Mano de obra		\$ 6,000,000
Valor Total			\$ 45,271,883

Figura 24

Flujo de caja para solución 3



Nota. Fuente: Autores, 2022.

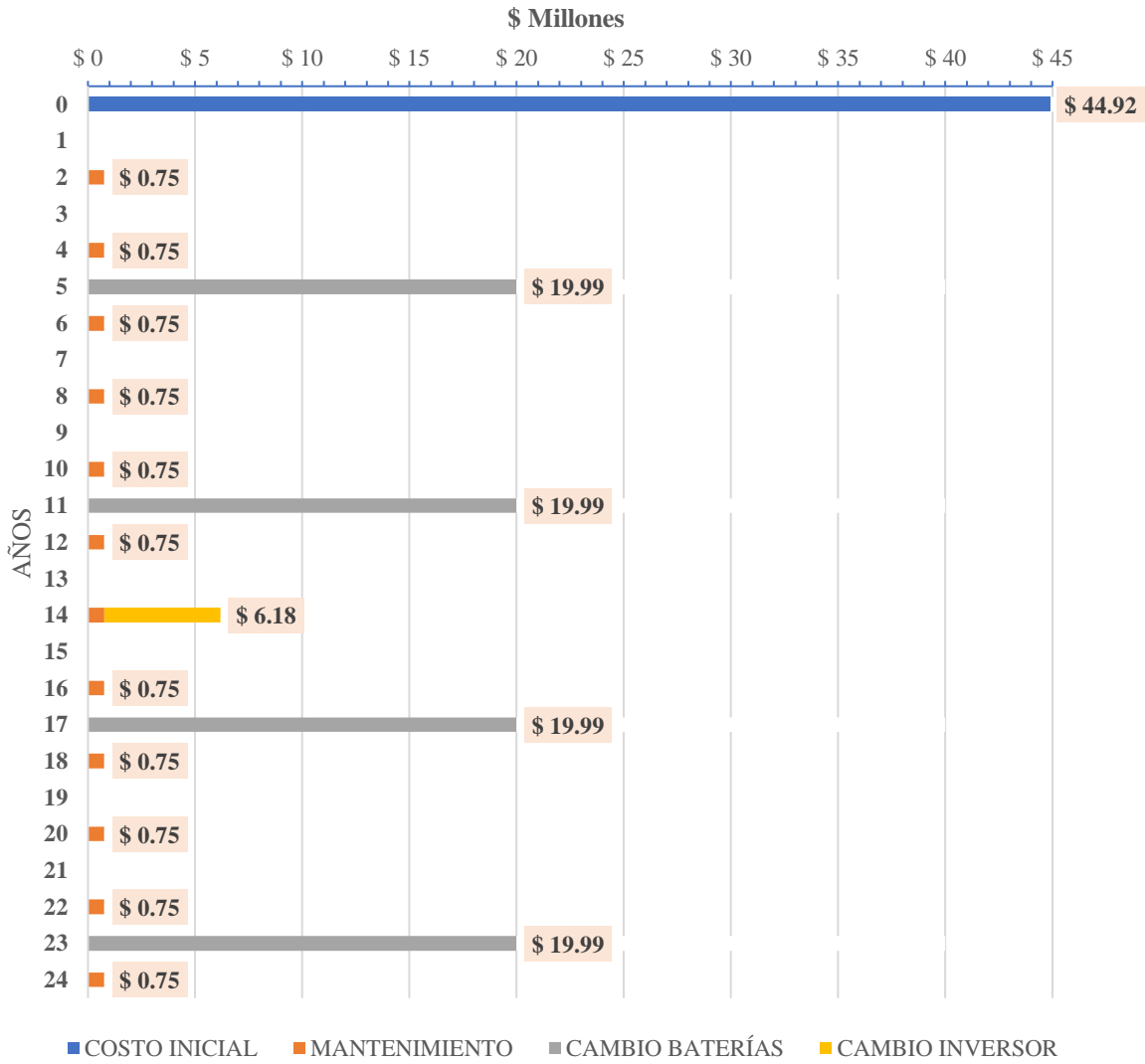
Tabla 21

Costo inicial de la solución 4

Und	Detalle de los productos	Valor Unitario	Valor Neto
18	Znshine Solar 345W	\$ 528,000	\$ 9,504,000
12	Ultracell GEL-316Ah	\$ 1,666,000	\$ 19,992,000
1	Voltronic 6500W 48V 120A	\$ 5,430,000	\$ 5,430,000
20	Conductor AWG 2	\$ 11,600	\$ 232,000
25	Conductor AWG 6	\$ 4,850	\$ 121,250
10	Conductor AWG 10	\$ 9,408	\$ 94,080
1	DPS	\$ 142,500	\$ 142,500
1	Breaker DC 160A 550V	\$ 240,000	\$ 240,000
18	Estructura metálica para paneles	\$ 180,000	\$ 3,240,000
2	Repartidor de corriente en paralelo 200 A	\$ 190,000	\$ 380,000
3	Tubo de 1"X3 m	\$ 13,100	\$ 39,300
	Mano de obra		\$ 5,500,000
Valor Total			\$ 44,915,130

Figura 25

Flujo de caja para solución 4



Nota. Fuente: Autores, 2022.

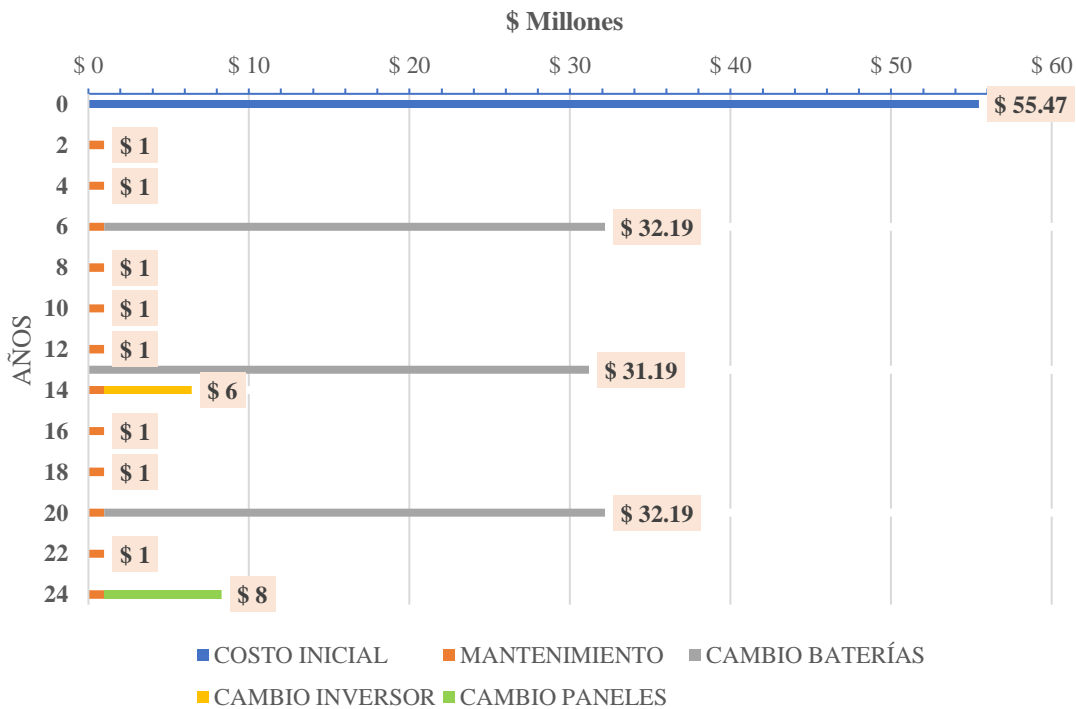
Tabla 22

Costo inicial de la solución 5

Und	Detalle de los productos	Valor Unitario	Valor Neto
12	EcoGreen 540W	\$ 608,350	\$ 7,300,200
16	Ultracell EST-600Ah	\$ 1,949,220	\$ 31,187,520
1	Voltronic 6500W 48V 120A	\$ 5,430,000	\$ 5,430,000
20	Conductor AWG 4	\$ 7,479	\$ 149,580
25	Conductor AWG 8	\$ 3,140	\$ 78,500
10	Conductor AWG 10	\$ 9,408	\$ 94,080
1	DPS	\$ 142,500	\$ 142,500
1	Bauker 6000W 110V	\$ 2,999,900	\$ 2,999,900
1	Breaker DC 160A 550V	\$ 240,000	\$ 240,000
12	Estructura metálica para paneles	\$ 180,000	\$ 2,160,000
1	Repartidor de corriente en paralelo 100 A	\$ 146,965	\$ 146,965
3	Tubo de 1"X3 m	\$ 13,100	\$ 39,300
	Mano de obra		\$ 5,500,000
Valor Total			\$ 55,468,545

Figura 26

Flujo de caja para solución 5



Nota. Fuente: Autores, 2022.

Para el análisis económico se utilizan los indicadores financieros, como el Costo Presente Neto (CPN) y el Costo Nivelado de la Energía (LCOE). En primer lugar, se evalúa los gastos a lo largo de la vida útil de las soluciones en referencia al valor de la inversión inicial utilizando el CPN considerando cuatro diferentes tasas porcentuales.

En la Tabla 23 se observa los resultados de la aplicación del indicador en las soluciones, donde se evidencia que a medida que la tasa incrementa el CPN disminuye. Realizando el seguimiento se encuentra la cuarta solución con el menor costo económico a lo largo de la vida útil para las tasas porcentuales establecidas y la segunda solución representa el mayor costo financiero.

Tabla 23

Costo presente neto de las soluciones

COSTO PRESENTE NETO (CPN)					
TASA	SOLUCIÓN 1	SOLUCIÓN 2	SOLUCIÓN 3	SOLUCIÓN 4	SOLUCIÓN 5
1%	\$ 156,467,216	\$ 165,234,416	\$ 135,729,408	\$ 127,289,939	\$ 158,853,605
3%	\$ 130,799,922	\$ 145,159,945	\$ 115,466,329	\$ 108,675,165	\$ 135,616,275
5%	\$ 112,748,426	\$ 130,708,022	\$ 100,906,626	\$ 95,290,361	\$ 118,771,930
7%	\$ 99,782,770	\$ 120,192,830	\$ 90,229,697	\$ 85,474,814	\$ 106,337,065

En segundo lugar, se evalúa el LCOE con el fin de determinar el precio del kWh que represente el costo total de instalación y operación teniendo en cuenta la vida útil de los sistemas fotovoltaicos con relación a su producción energética. El costo total se toma con base a la tasa del 1% del CPN expuesto en la Tabla 23, además se fija el factor de capacidad en 19% que representa la relación entre la energía real generada en un periodo de tiempo y la energía a plena carga durante el mismo periodo de tiempo, que en este caso está dado por las HSP en un periodo de 24 horas:

$$\text{Factor de capacidad} = \frac{4.46 \text{ h}}{24 \text{ h}} = 0.185 \sim 0.19$$

El Factor de Recuperación de Capital (CFR) es la relación que ayuda a encontrar los valores presentes de una serie de pagos iguales, cuya determinación se aplica para calcular el LCOE como está planteado en el Apéndice E2.

Tabla 24

Costo nivelado de la energía de las soluciones

PARÁMETRO	LCOE				
	SOLUCIÓN 1	SOLUCIÓN 2	SOLUCIÓN 3	SOLUCIÓN 4	SOLUCIÓN 5
Costo total	\$156,467,216	\$165,234,416	\$135,729,408	\$127,289,939	\$158,853,605
Costo mantenimiento anual	\$ 350,000	\$ 350,000	\$ 500,000	\$ 375,000	\$ 500,000
Factor de capacidad	19%	19%	19%	19%	19%
Capacidad instalada	6.48	6.48	6.55	6.21	6.48
Años	24	24	24	24	24
Tasa descuento	10%	10%	10%	10%	10%
CRF	0.111	0.111	0.111	0.111	0.111
LCOE	\$ 1,691.64	\$ 1,784.56	\$ 1,469.13	\$ 1,445.00	\$ 1,731.22

En la anterior tabla se encuentra el valor del indicador LCOE junto a los diferentes parámetros de cada solución. Evaluando los precios se tiene que la de mayor costo por kWh es la segunda solución, y las de menor valor son las soluciones 3 y 4.

5.3. Viabilidad

El análisis de la viabilidad para las diferentes soluciones se orienta en la identificación de los gastos económicos ya que en el presente estudio no se reconocen ingresos monetarios por la operación de los sistemas a lo largo de la vida útil, así como también las capacidades técnicas para el abastecimiento pleno de la carga requerida.

A partir de los indicadores financieros CPN y LCOE, se establece un orden de viabilidad, de la más viable a la menos, bajo el criterio del menor costo como se expone en la siguiente tabla:

Tabla 25*Orden de viabilidad*

Solución	CPN	LCOE	Viabilidad
4	\$ 85,474,814	\$ 1,445.00	1
3	\$ 90,229,697	\$ 1,469.13	2
1	\$ 99,782,770	\$ 1,691.64	3
5	\$ 106,337,065	\$ 1,731.22	4
2	\$ 120,192,830	\$ 1,784.56	5

Según los resultados contenidos en la Tabla 25, se destacan dos soluciones por tener los mejores índices financieros, esto gracias al tipo de configuración y tecnologías seleccionadas. En primer lugar, la solución 4 describe la instalación de una configuración con inversor 3 en 1, que tiene una característica principal y es la utilización de un inversor multifuncional para el control de todo el sistema, que presenta las tecnologías: policristalina en los paneles, MPPT y onda pura en el inversor, y gel en las baterías. En segundo lugar, la solución 3 posee una configuración independiente cuya característica esencial son tecnologías originarias de los sistemas fotovoltaicos como lo son los paneles policristalinos, reguladores PWM, inversores de onda modificada y baterías de gel, que cuentan con menores prestaciones, costos reducidos y buena disponibilidad comercial. Las tecnologías que comparten estas soluciones en paneles y baterías representan un costo similar en el tiempo de operación, teniendo a las baterías como el mayor gasto en los sistemas aislados, se identifica a las de gel como las más económicas permitiendo un costo inferior a lo largo de la vida útil de estos sistemas.

6. Conclusiones

En el presente trabajo se identificaron las condiciones climáticas del municipio de Cumaribo del departamento de Vichada por medio de las bases de datos de IDEAM, NASA, PVGIS, Meteonorm, NREL. Se encontró un gran potencial solar que se distribuye favorablemente en todos los meses del año representando una oportunidad para el desarrollo de sistemas fotovoltaicos aislados en la región. Una vez establecidas las condiciones meteorológicas, se estimó el perfil de demanda de un usuario ceñido a los comportamientos habituales de una familia rural que tiene la posibilidad de instalar un sistema de riego para cultivos como la caña de azúcar y las denominadas huertas orgánicas para el autoconsumo.

Debido a la variedad de tecnologías fotovoltaicas, fue necesario determinar configuraciones con base a los componentes presentes en los diferentes distribuidores de Colombia para dimensionar soluciones acordes a la oferta comercial. La combinación de las distintas tecnologías condujo a una suma considerable de configuraciones que para el caso de estudio se redujo a cinco donde se incluyeran las configuraciones más comunes.

Se dimensionaron cinco soluciones por medio del método del peor mes que variaron en sus cantidades, costos y características pero que cumplen con los requerimientos de consumo. Estas soluciones quedaron plasmadas en esquemas de conexión que ilustran cantidades e información del dimensionado de estos sistemas.

En el análisis técnico se pudo evidenciar el impacto que tiene la eficiencia de la tecnología en cada componente con el rendimiento global de la instalación que influirá en las cantidades, como el caso de los reguladores tipo PWM y los inversores de onda modificada, que tuvo como resultado para la solución 3 una disminución en la tensión del sistema causando aumentos

considerables de corrientes que incrementaron la solidez de las protecciones debido a que la oferta comercial no ofrecía este tipo de reguladores e inversores para 48 V. En cuanto a cantidades, la solución 2 tiene la cifra más baja de equipos gracias a la eficiencia en la tecnología MonoPerc en paneles y Litio en baterías, brindando un rendimiento global más alto que las demás, no obstante, la solución 1 cuenta con la configuración independiente más equilibrada pero las soluciones 4 y 5 presentan la compactación de tres funciones gracias al inversor 3 en 1. Cabe resaltar que la solución 5 es la única que cuenta con respaldo ante una eventualidad de no operación del grupo de paneles, por lo que puede abastecer sin problema la energía necesaria para la carga de las baterías (si se gastó la carga de los días de autonomía) y demás consumos de la vivienda en alrededor de 4.65 horas.

El análisis de viabilidad se basó en los indicadores financieros CPN y LCOE, a partir de los cuales se determinó que la solución 4 es la más viable financieramente ya que produciría menores gastos a lo largo de su vida útil a un menor costo de generación de la energía eléctrica; sin embargo, estará en el usuario decidir que solución se adapta más a sus necesidades.

Sin lugar a duda, las fuentes de energía alternativa que ofrecen las tecnologías fotovoltaicas son una solución viable para el bienestar de las poblaciones más apartadas del país en aprovechamiento de abundantes recursos como la energía del sol que pueden convertirse en factor de desarrollo de estos grupos sociales.

Referencias Bibliográficas

- Alvarado Ladrón de Guevara, J. (2018). *Diseño y cálculo de una instalación fotovoltaica aislada* (east=-69.93590699999999; north=-4.203164999999999; name=Leticia, Amazonas, Colombia) [Proyecto Fin de Carrera/Grado, Universidad Politécnica de Madrid (UPM)]. <https://oa.upm.es/52204/>
- Aparicio, M. P. (2020). *Radiación solar y su aprovechamiento energético*. Marcombo. <https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=YkxOEAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP1&dq=Radiaci%C3%B3n+solar+y+su+aprovechamiento+energ%C3%A9tico&ots=r8Z85LHefi&sig=aWrcAiMqePNpkm0SHjGmc7Qv6Lg#v=onepage&q&f=false>
- Aranda Usón, A., & Scarpellini, S. (2009). *Análisis de viabilidad económico-financiero de un proyecto de energías renovables*. Prensas de la Universidad de Zaragoza. <https://elibro-net.bibliotecavirtual.uis.edu.co/es/ereader/uis/41934>
- Azabache Medina, L. F., Aguilera Peña, A., Molina, M. A., & Cepeda Urrutia, C. (2020). *Plan Departamental de Extensión Agropecuaria 2020-2023*. <https://www.minagricultura.gov.co/ministerio/direcciones/PublishingImages/Paginas/PDEA/Vichada.pdf>
- Banco Interamericano de Desarrollo, (BID), Giraldo, I. M., Pening, J. P., & Acevedo Arango, M. (2017). *Consultoría para apoyo en Asociaciones Público Privadas -APP - para Zonas No Interconectadas en Colombia* (p. 209). <https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Participacin%20privada%20en%20proyectos%20de%20infraestructu/Apoyo%20en%20APP%20para%20ZNI%20en%20Colombia.pdf>

- Bayod Rújula, Á. A. (2009). *Energías renovables: Sistemas fotovoltaicos* (1a edición). Prensas de la Universidad de Zaragoza. <https://elibro-net.bibliotecavirtual.uis.edu.co/es/ereader/uis/41940>
- Carta González, J. A., Calero Pérez, R., Colmenar, A., & Castro Gil, M. A. (2009). *Centrales de energías renovables, 2ed.* PEARSON EDUCACIÓN. <https://www.pearsoneducacion.net/espa%C3%B1a/TiendaOnline/centrales-de-energias-renovables-2ed>
- Datos climáticos y meteorológicos históricos simulados para Cumaribo.* (2022). meteoblue. https://www.meteoblue.com/es/tiempo/historyclimate/climatemodelled/cumaribo_colombia_3685435
- Energya Vm. (2020, mayo 13). ¿Qué es el Levelized Cost of Energy (LCOE)? *Energya*. <https://www.energyavm.es/que-es-el-levelized-cost-of-energy-lcoe/>
- Federación Nacional de Cafeteros. (2022). Pancoger. *Federación Nacional de Cafeteros*. <https://federaciondecafeteros.org/wp/glosario/pancoger/>
- González Herrera, O. I., Tautiva Mancera, C., Quiroga Carmargo, J. F., Gómez, M., Pedroza, J. C., & Correa Salazar, J. D. (2016). *Invierta y Gane con Energía Guía práctica para la aplicación de los incentivos tributarios de la Ley 1715 de 2014* (p. 28) [Cartilla]. Min. Minas, Min. Ambiente, UPME, USAID y ANLA. https://www1.upme.gov.co/Documents/Cartilla_IGE_Incentivos_Tributarios_Ley1715.pdf
- IGAC. (2013). *Cumaribo, uno de los municipios del Vichada en los que renacerá la paz*. Instituto Geográfico Agustín Codazzi. <https://igac.gov.co/es/noticias/cumaribo-uno-de-los-municipios-del-vichada-en-los-que-renacera-la-paz>

- Martínez Gracia, A., & del Amo Sancho, A. (2016). *Instalaciones solares térmicas de baja temperatura* (1a. edición). Prensas de la Universidad de Zaragoza. <https://elibro-net.bibliotecavirtual.uis.edu.co/es/ereader/uis/44856>
- Mermoud, A., Viloz, M., Wittmer, B., Oliosi, M., Pepoli, S., Lang, N., Apaydin, H., Metz, S., Fesnien, L., Munos, O., Calame, P., Mermoud, S., & Jenson, A. (2022). *PVsys 7.2* (7.2). <https://www.pvsyst.com/pvsyst-team/>
- Parra Raffán, L. C., Romero, A., & Martinez, M. (2018). Solar irradiation forecasting through a hybrid method, considering zonda, north and south winds in San Juan, Argentina. *2018 IEEE Biennial Congress of Argentina (ARGENCON)*, 1–7. <https://doi.org/10.1109/ARGENCON.2018.8646300>
- Redacción. (2022, enero 20). *Diferencia entre paneles solares monocristalinos y policristalinos*. EcoInventos. <https://ecoinventos.com/diferencia-paneles-solares-monocristalinos-policristalinos/>
- Salida y puesta del sol en Cumaribo, Vichada, Colombia*. (2022). https://www.citipedia.info/city/sunriseandsunset/Colombia__Vichada_Cumaribo_id_3685435_lang_es
- Sánchez, K., Hernandez Buitrago, D., Buitrago, C., Alcaldía Municipal de Cumaribo, Consejo Municipal de Cumaribo, & Consejo territorial de Planeación. (2016). *Cumaribo Plan de Desarrollo Municipal 2016-2019*. 2006, Revista DYNA. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0012-73532008000100019&lng=en&nrm=iso&tlng=es
- Tobajas Vázquez, M. C. (2014). *Instalaciones solares fotovoltaicas*. Cano Pina. <https://elibro-net.bibliotecavirtual.uis.edu.co/es/ereader/uis/43053>

Vivas, J. (2019, febrero 12). *El mapa de 1.710 poblados que aún se alumbran con velas en Colombia*. El Tiempo. <https://www.eltiempo.com/colombia/otras-ciudades/los-lugares-que-aun-viven-sin-energia-electrica-en-colombia-325892>

Apéndices

Apéndice A. Definiciones

Apéndice A1. Radiación solar

La radiación solar que emite el Sol a la Tierra considerablemente debilitada (aproximadamente 1360 W/m^2), debido a la distancia entre el Sol y la Tierra. Después dicha radiación se tiene una atenuación debido a la carga atmosférica, por lo que la radiación en la superficie terrestre es de alrededor de 1000 W/m^2 (Aparicio, 2020); esta radiación se propaga en forma de ondas electromagnéticas y les toma alrededor de 8 minutos en llegar a la Tierra, de tal manera se puede generar electricidad gracias al efecto fotoeléctrico (Parra et al., 2018).

Según Aparicio (2020), la radiación solar se puede clasificar en 3 tipos dependiendo de cómo incide los rayos en la Tierra:

Radiación Directa. Es la energía que ingresa directamente en la atmósfera de la Tierra sin desviación alguna.

Radiación Difusa. Es la radiación que sufre cambios de dirección debido a la reflexión y difusión que se presenta en la atmosfera.

Radiación Albedo o reflejada. Es la radiación directa y difusa que se recibe por reflexión en el suelo u otras superficies próximas (p. 14).

Apéndice A2. Irradiancia

Se define como el flujo de radiación solar que incide una unidad mediante una superficie en un tiempo dado. Se expresa normalmente en kW/m^2 (Aparicio, 2020, p. 16).

Apéndice A3.Efecto fotovoltaico

La generación de energía fotovoltaica funciona a través del efecto fotovoltaico, proceso en el cual se transforma la energía del Sol en electricidad. Para llevar a cabo esta conversión se utilizan unos dispositivos denominados células solares, constituidos por materiales semiconductores en que, artificialmente, se ha generado un campo eléctrico constante, mediante una unión p-n.

Cuando un fotón incide en un átomo, éste le libera un electrón dejando un hueco disponible. El electrón y el hueco vagan alrededor de la estructura con una velocidad determinada que dependerá del material.

El par del electrón-hueco tiene un corto periodo de tiempo libre porque es muy probable que se recombine con alguno de los numerosos huecos que hay en el material p. Sin embargo, si el par-electrón es creado lo suficientemente cerca de la unión, hay bastante probabilidad de que se difunda en la unión, y cuando lo haga será acelerado a su través por el campo eléctrico.

El único trabajo realizado por la luz es la separación de electrones y huecos en un átomo. El desequilibrio de carga en una célula iluminada (electrones apilados en el lado n y huecos en el lado p) crea una diferencia de potencial, y si los dos lados se conectan mediante un conductor, fluirá una corriente desde el lado n hacia el p (donde hay menos electrones) realizando trabajo en una carga exterior (Bayod, 2009).

Apéndice A4.Horas solar pico HSP

(Aparicio, 2020, p. 32), y de una manera sencilla se considera como aquella cantidad de energía que es recibida en un metro cuadrado; por ejemplo, si en un lugar del planeta se tiene 5 HSP, quiere decir que la superficie en un día estuvo recibiendo 5000 Wh/m^2 o que es lo mismo que 5 kWh/m^2 .

Las HSP son las utilizadas para los cálculos de energía recogida por los captadores solares y que se utilizará para el dimensionado de la instalación. El valor de HSP puede variar desde 3 hasta 7 horas diarias dependiendo del mes y lugar de la instalación, del mismo modo puede variar dependiendo de la zona geográfica de la instalación.

Apéndice A5. Sistemas fotovoltaicos autónomos

La utilización de sistemas fotovoltaicos autónomos se convirtió en una gran opción en las zonas rurales esto para que la energía llegase a comunidades, viviendas, hoteles, centros vacacionales y hasta centros educativos. Estos sistemas se distinguen por la incorporación de acumuladores de energía o baterías de tal manera que en las horas en que no hay sol se puede tener un suministro constante por lo que resultan muy competitivos en lugares muy apartados.

Estos tipos de sistemas tienen un esquema general compuesto por diversos equipos. Con estos, se pueden considerar desde sistemas simples tales como un generador FV que opere con un consumo en corriente directa o con sistemas que contengan consumos en directa y alterna. Tanto el inversor, como el regulador y las baterías son componentes que influyen considerablemente en el rendimiento de la instalación debido a que se pueden encontrar diversas opciones al momento de seleccionar.

La energía fotovoltaica es una solución descentralizada de las grandes matrices energéticas o sistemas convencionales como la hidroeléctrica y está enfocada para usuarios de uso final que no dependan de las redes eléctricas. Estos sistemas son instalados a nivel mundial, pero sobre todo en los países en vías de desarrollo donde esta tecnología resulta ser más apropiada y beneficia más a las comunidades como por ejemplos las que se encuentran en la zona de la Guajira que son de característica indígena y se proporciona energía a la iluminación, pequeñas cargas, refrigeración, educación, alimentación, saneamiento de agua potables, etc.

Apéndice A6.Dimensionamiento

El dimensionado es el proceso por el cual se determina el tamaño de las instalaciones, atendiendo a dos parámetros fundamentales: por una parte, la demanda energética a cubrir, y por otra la energía disponible para satisfacer esta demanda (es decir, la radiación solar disponible). La necesidad de garantizar un suministro constante, aún en las peores condiciones (ya que, en la mayoría de los casos, no se puede acceder a fuentes energéticas de apoyo que suplan los fallos del sistema), y el elevado costo de los equipos son factores de capital importancia. En electrificación rural, además de los requerimientos técnicos y económicos, ha de prestarse atención a las regulaciones nacionales y locales, y tener en cuenta aspectos sociales y sociológicos tales como actividad económica de la comunidad y sus prioridades de desarrollo, nivel de educación, resultados de otros proyectos similares en el entorno, posibles fuentes de financiación. El objetivo es disponer de sistemas fotovoltaicos seguros, fiables y duraderos (Bayod Rújula, 2009, p. 275).

Es importante tener en cuenta factores como la demanda que se debe cubrir y la energía que se tiene disponible que va ligada al lugar donde se encuentra ubicada la demanda, así como los aspectos legales y regulatorios.

Apéndice B.Componentes

Una instalación fotovoltaica tiene una serie de componentes que cumplen una función específica con el objetivo de transformar la energía solar, para ello es importante entender de qué se trata y cuáles son sus componentes.

Apéndice B1.Paneles fotovoltaicos

Para el aprovechamiento de la energía solar fotovoltaica se realiza por medio de un semiconductor que transforma parte de la energía recibida en corriente continua. La función de los paneles es captar la energía radiante solar y transformarla en energía eléctrica. Un panel solar está

compuesto por un número variable de células solares, entre 31 y 72, conectadas eléctricamente en serie, del número de células depende el voltaje de salida; el fabricante es el que decide el número mínimo para garantizar la carga efectiva del banco de baterías. La superficie de un panel fotovoltaico oscila entre 0,5 y 2,5 m², donde las células están ensambladas entre dos estratos, uno superior de cristal de silicio y otro inferior de material de plástico. Estos dos productos se colocan en un horno de alta temperatura resultando un bloque único laminado, donde se añaden marcos que normalmente son de aluminio (Tobajas, 2014, pp. 6–7).

Una parte esencial de todo panel solar es la construcción de las células o celdas solares que pueden tener ciertas características que distinguen unas de otras; el material, la tecnología que se usa y también su fabricación.

Apéndice B2. Inversores

Los inversores son un elemento fundamental en una instalación fotovoltaica, son los que transforman o convierten la forma de la señal de entrada, para de ser continua a alterna que es la que se usa en todas las residencias e industrias. Según la NTC 2050, un inversor se utiliza para variar el nivel de tensión, la forma de onda o ambas cosas de una fuente de energía eléctrica. En general un inversor, también conocido como unidad de acondicionamiento de energía (PCU) o sistema de conversión de energía (PCS), es un dispositivo que cambia una entrada de corriente continua en una salida de corriente alterna. Los inversores en los sistemas autónomos pueden incluir también cargadores de baterías que toman la corriente alterna de una fuente auxiliar, como un generador, y la rectifican convirtiéndola en corriente continua para cargar la batería.

Es importante que un inversor posea una serie de cualidades que impactarán en el funcionamiento de un SFV y que son requisitos mínimos al momento de elegir uno de estos. Y estos son:

- Estabilidad de voltaje.
- Eficiencia razonable.
- Baja distorsión de armónicos.
- Capacidad de resistir potencias puntas.
- Buen comportamiento frente a la variación de temperatura.
- Posibilidad de ser combinado en paralelo.
- Arranque automático.
- Señalización adecuada.
- Seguridad o protecciones contra sobrecorrientes.
- Mantener el nivel de tensión de salida sin salirse de los márgenes.
- Limitar o controlar la intensidad de corriente de salida para que no sobrepase los valores tolerables de los siguientes equipos.
- Mantener la frecuencia de salida.

Apéndice B3.Reguladores

Los reguladores cumplen una función esencial y es el controlar de una manera eficaz las sobrecargas y descargas de los acumuladores de energía, evitando daños irreversibles en estos equipos tan necesarios en SFV aislados. Así, los reguladores deben recibir unos valores de voltajes y corrientes de los paneles mayores que la salida de las baterías debido a que las temperaturas disminuyen estos valores de entrada. Los reguladores proporcionan energía a algunos equipos que funcionan con DC por su puerto de carga. En definitiva, los reguladores brindan una mayor confiabilidad y seguridad en todo el sistema. Los reguladores se pueden encontrar de diferentes tipos dentro de los cuales son:

Regulador shunt (paralelo). Este regulador está basado en la disipación por calor de la energía sobrante, es decir, una vez que la batería está cargada si el panel fotovoltaico sigue dando energía eléctrica ésta no puede guardarse y por medio de un circuito de control hace que se disipe, gracias a un sistema dotado de diodo Zener y disipador de calor.

También puede darse el caso en que esta de noche, por tanto, el panel fotovoltaico ya no produce energía eléctrica, pero la batería está cargada y para que no ceda electricidad al panel fotovoltaico, dispone de un diodo de bloqueo, que ofrece una resistencia considerable al paso contrario de la corriente (corriente inversa).

Estos reguladores resultan razonables en sistemas solares pequeños, pero con los grandes sistemas se requieren disipadores térmicos de grandes proporciones, produciendo unos costes muy elevados, una pérdida de energía considerable y problemas de fiabilidad (Tobajas Vázquez, 2014, pp. 21-22).

Regulador serie. Estos equipos son equivalentes a un desconectador automático de batería, formado por un interruptor, que proporciona muy baja resistencia cuando la batería está cargando, y un circuito abierto cuando la batería está plenamente cargada.

La ventaja principal de este sistema es que el regulador no disipa nada de energía, por tanto, la única potencia que se consume es la de mando y control. Estos reguladores pueden funcionar en sistemas que trabajen con 12, 24 y 48 V. Esto se consigue gracias a un sistema de regulación interna, que hace que el relé tenga la apertura del sistema mediante el nivel de tensión indicado. A continuación, se tiene un diagrama que describe las partes más importantes que compone un regulador serie (Tobajas, 2014, p. 22).

Regulador de doble circuito. Tienen la capacidad de desviar la energía eléctrica a otros circuitos auxiliares creados para tal fin. De esta forma, la energía no se pierde. El caso más visible podría ser un sistema que alimentarse a una bomba de agua cuando la batería estuviese cargada, ya que no podemos almacenar energía eléctrica, sí que podemos almacenar agua (Tobajas, 2014, p. 23).

Regulador con dos niveles de carga. Tienen por objeto proporcionar cargas profundas con tensiones diferentes estableciendo niveles de carga del 100%, aparte también mantienen la batería en flotación.

Los reguladores con dos niveles de carga incorporan en su diseño microprocesadores que gestionan las cargas y descargas de la batería de una manera inteligente. También pueden incorporar otras funciones, como contadores de amperios-hora, alarmas, datos, etc. (Tobajas, 2014, p. 23).

Regulador multietapa. Se utilizan en grandes instalaciones y son los encargados de cargar las baterías de módulos por etapas.

Normalmente este sistema se compone de 6 o 8 bloques de módulos que, por medio de este regulador, carga las baterías y suelen tener una gran capacidad (Tobajas, 2014, p. 23).

Regulador con relé de estado sólido. Se basan en la tecnología del semiconductor de potencia llamado MOSFET. Este relé de estado sólido soporta potencias considerables y elimina la chispa de ruptura, que era el principal problema en los reguladores serie. Por tanto, son muy apropiados para usarlos en ambientes donde no se pueda usar relés electromecánicos (Tobajas, 2014, p. 23).

Apéndice B4. Baterías

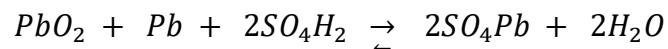
En un sistema fotovoltaico aislado toma gran valor los acumuladores de energía debido a que la energía sobrante que llega de los paneles puede usarse en la noche para la iluminación y demás actividades que requieran. Por ello es diferente conocer las distintas tecnologías que existen, de que materiales se componen, así como sus ventajas y desventajas. Entonces en primer lugar se tiene una clasificación dependiendo del uso:

Estacionarias, que están determinados a permanecer en un lugar y tienen corrientes permanentes y no están obligados a producir corrientes elevadas en periodos cortos de tiempo.

De arranque, como las baterías de un automóvil, que estarán previstas para suministrar una cantidad elevada de energía eléctrica en un espacio breve de tiempo (segundos).

Las grandes diferencias que encontramos entre estas dos clases de baterías se centran en la vida útil y el tamaño de sus placas; en las estacionarias la vida útil es mayor, pero en las de arranque sus placas son más gruesas. Para nuestro caso de estudio, es más prescindible conocer las baterías estacionarias y se tienen de varias composiciones.

Baterías de plomo ácido. Es una de las más utilizadas debido a su bajo coste. Está formada por dos electrodos de Pb (plomo) y ácido sulfúrico (SO_4H_2) como electrolito, todo ello en una solución de agua destilada. Cuando la batería está cargada el electrodo positivo tiene un depósito de dióxido de plomo (PbO_2) y el electrodo negativo es plomo. Al descargarse la reacción química, tanto la placa positiva como la negativa tienen un depósito de sulfato de plomo (PbSO_4), produciéndose la siguiente transformación en el interior del acumulador:



Baterías de plomo-antimonio (Pb-Sb). Batería de placas tubulares, es la más utilizada en instalaciones medias o grandes, admite descargas moderadamente altas, aunque, como todos los acumuladores, su vida depende de la profundidad de sus descargas. Para una vida de 10 a 15 años lo ideal es mantener una profundidad de descarga del 30%, también es posible llegar a una profundidad de descarga mayor del 80%, pero no es recomendable ya que acortaría su duración.

Están formadas con celdas de polipropileno translucido de 2 V, uniéndose en elementos en serie hasta llegar a 12 o 24 V, la conexión queda bien fijada gracias al atornillado entre celdas.

Baterías de plomo-calcio (Pb-Ca). La batería más apropiada para pequeñas, no necesitan mantenimiento y tienen una autodescarga baja, aunque no aguanta descargas superiores al 40%, siendo la capacidad utilizable la mitad. Su forma es como las baterías de automóviles, tienen una estructura del tipo monoblocks, se pueden transportar fácilmente, su precio es aceptable y, por tanto, son bastante utilizadas en pequeñas instalaciones.

Baterías de ciclo profundo gelatinosa. Es una batería o acumulador del tipo Pb-ácido, donde el electrolito no es líquido, es gelatinoso. Su coste es alrededor de tres veces mayor que las del electrolito líquido. Tiene características técnicas que la hacen muy útil en aplicaciones especializadas. Como ventaja con respecto a las de plomo-acido es que no requieren ventilación exterior durante el proceso de carga, siendo toda ella de tipo hermético, disminuyendo el riesgo en su manejo y es una solución ideal para instalaciones marinas (boyas, embarcaciones).

Tampoco necesitan mantenimiento (agregado de agua) y por tanto se pueden utilizar en instalaciones con poco o nula supervisión como: señalización en carreteras, iluminación de carteles, repetidores.

Baterías de Níquel-Cadmio (Ni-Cd). Está compuesta por un proceso electroquímico, basado en que la placa positiva, está formada por hidróxido de níquel, y la negativa por hidróxido

de cadmio. Estas placas se encuentran bañadas en un electrolito, donde hay una disolución acuosa de hidróxido potásico con otros elementos.

Como las baterías de plomo-acido, estas también se dividen por elementos de 1,2 V; por tanto, para formar una batería de 12 V necesitamos 10 elementos puestos en serie.

Al contrario de las baterías de plomo ácido, el electrolito solo actúa de conductor, no siendo peligroso por no producir sulfatación.

Dentro de las cualidades más destacadas de este tipo de baterías se encuentra:

- Soportan descargas más elevadas que las demás baterías.
- Ahorro considerable de capacidad de baterías.
- La tensión por elemento se mantiene más estable.
- Su vida es más larga y pueden resistir temperaturas más bajas.
- Soportan cortocircuitos fortuitos sin deteriorarse.
- Soportan la falta de agua, funcionando de nuevo cuando se añade.

La desventaja principal que se encuentra en este tipo de baterías es su coste que puede llegar a superar tres veces el equivalente en plomo-acido.

Baterías de Níquel-Hidruro metálico (Ni-MH). Tiene un electrodo de níquel (Ni), el otro electrodo es de una aleación de hidruro, es menos contaminante que el cadmio (Cd). Tiene el inconveniente de una autodescarga mayor que las de níquel-cadmio, su uso en instalaciones solares fotovoltaicas es muy limitado.

Baterías Herméticas. Cuando los consumos son bajos, o los tiempos de duración entre carga y descarga son pequeños, se pueden utilizar baterías herméticas para un sistema solar fotovoltaico.

Este tipo de baterías tienen las siguientes características:

- No existe peligro de pérdida del electrolito.
- Mantenimiento nulo.
- Funcionan en cualquier posición.
- No emiten gases.
- Trabajan en un rango de temperatura mayor.
- Resiste mejor los choques fortuitos.

Una de sus desventajas es que su vida útil no es tan larga como sus competidores, tiene unos 1700 ciclos a 30% de descarga. En el mercado se pueden encontrar de diferentes tensiones que pueden ser 2, 4, 6, 12 V, según sea monoblocks o de plomo, las capacidades oscilan desde 0,5 a 300 Ah

Baterías Monoblocks. Las baterías tipo monoblocks se utilizan en pequeñas instalaciones fotovoltaicas donde la relación calidad precio tiene que ser equilibrada. Sus placas están reforzadas con rejilla y aislamiento especial, son de una aleación plomo-antimonio que tiene una pérdida de agua es muy reducida, tiene hasta una capacidad de 250 Ah y se pueden agrupar fácilmente. (Tobajas, 2014, pp. 17–20).

Apéndice C. Nuevas investigaciones en células solares

A continuación, se encuentran los últimos avances en la construcción de células solares en donde se evidencia un importante avance del desarrollo de estas tecnologías (Carta et al., 2009).

Apéndice C1. Células bifaciales de fósforo-boro

Se han conseguido células solares bifaciales con rendimientos del 19,1% por la cara posterior (dopada con fósforo) y 18,1% por la frontal (dopada con boro).

Las células bifaciales pueden integrarse en módulos bifaciales, que aprovechan la luz reflejada en su cara posterior, aumentando de esa forma la conversión de energía. Además, son especialmente indicadas para su uso en concentradores estáticos, pues duplican el nivel de concentración alcanzable.

Se ha conseguido fabricar células bifaciales con silicios Cz con rendimientos del 17,7% por la cara posterior y 15,2% por la cara frontal. Que sepamos, este es el mejor rendimiento conseguido en el mundo para células bifaciales sobre silicio.

Apéndice C2. Nanotecnología

Científicos de la universidad de California de Berkeley trabajan en el desarrollo de células solares fotovoltaicas que combinan la nanotecnología con el plástico y que podrían abaratar considerablemente los actuales precios de fabricación.

Las nuevas células están realizadas en un material plástico barato y flexible, y pueden ser superpuestas como una capa sobre cualquier superficie para convertirla en fuente de electricidad. Cuando esta tecnología esté plenamente desarrollada, incluso podrían colocarse sobre la ropa para suministrar energía a pequeños aparatos portátiles, como el móvil o la agenda electrónica.

La eficiencia de sus células es muy pequeña, en torno de los 1,7%, pero tiene un enorme potencial de mejora. El desarrollo de estas nuevas células ha sido posible gracias a los avances en el campo de la nanotecnología, ya que están elaboradas con nanopartículas (del tamaño de una milmillonésima de metro) insertadas en un material de plástico denominado P3HT, de 200 nanómetros de espesor, recubierto con una capa de material conductor transparente, con la otra cara pintada con una fina lamina de aluminio que actúa como segundo electrodo. El objetivo es mejorar la densidad de las partículas para que estén lo más próximas unas de otras y para que se

sitúen lo más perpendicular posible a los electrodos, reduciendo al mínimo el uso de material plástico.

También se pretende desarrollar células hechas con tres capas diferentes de partículas y material plástico, cada una capaz de absorber diferentes longitudes de onda de la luz, lo que multiplicaría su eficiencia. Con todo ello, es factible multiplicar la eficiencia por 10.

Apéndice C3. Células solares supereficientes

Las células solares utilizan capas de materiales semiconductores para absorber los fotones de la radiación solar y convertirlos en energía eléctrica. Pero cada uno de estos materiales solo es capaz de utilizar los fotones hasta un cierto nivel, de manera que incluso las células más eficientes solo aprovechan el 30% de la energía solar.

Esta situación podría cambiar a partir de los descubrimientos realizados por Wladed Walukiewicz y su equipo del laboratorio Lawrence Berkeley National de California. Según los investigadores han comprobado que el material semiconductor denominado InGaN (indio-galio-nitrógeno), superpuesto en varias capas y en distintos porcentajes, permite absorber con mucha mayor eficacia la energía de los fotones.

Este tipo de células también serviría para prolongar la vida de los paneles solares de los satélites en el espacio, al mejorar su capacidad para hacer frente a las temperaturas extremas y a los rayos cósmicos.

Apéndice C4. Tecnología de triple unión

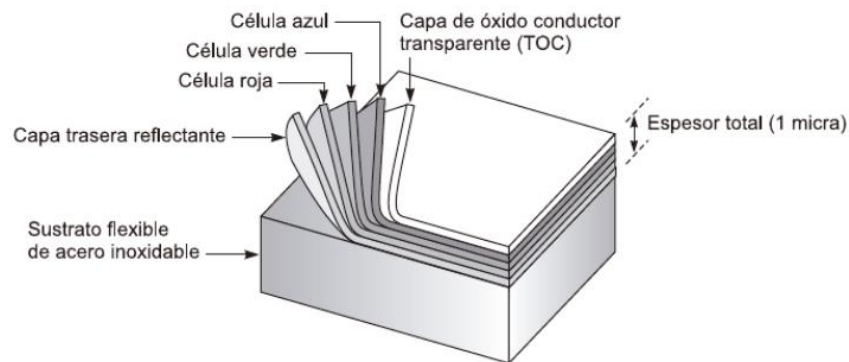
Cada módulo fotovoltaico utiliza células de silicio de capa fina basadas en tecnología triple-unión provenientes de United Solar Systems Corporation. Cada célula se compone de tres capas semiconductoras montadas una sobre otra. La célula inferior absorbe la luz roja, la central lo hace con la luz verde/amarilla y la célula superior absorbe la luz azul.

Esta capacidad de absorber una gran parte del espectro solar es la clave de su gran eficiencia, especialmente a bajos niveles de irradiación o en condiciones de luz difusa.

Las células se producen mediante proceso de deposición en vacío sobre rollos de acero inoxidable que se desdoblan, empleando solo una parte de los materiales y energía que se utilizarían para la producción de células de silicio cristalinas estándar. El resultado es una célula solar única, flexible y ligera.

Figura 27

Célula de triple unión

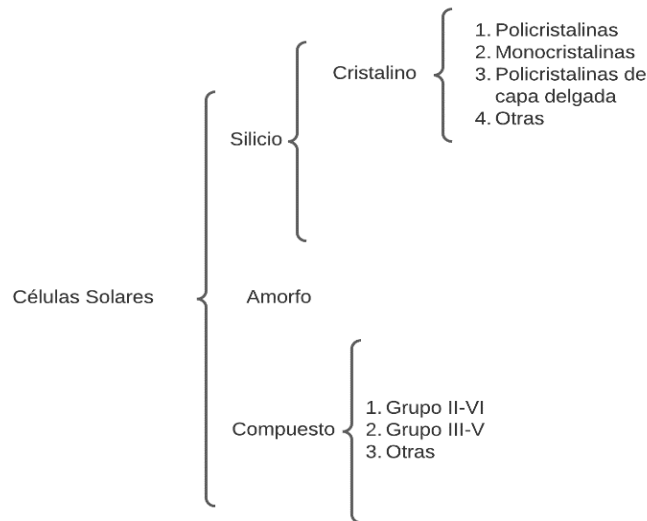


Nota. Tomado de Centrales de energías renovables Carta-et al., (2009, fig. 6.40.).

Las células obtenidas se transforman en paneles convencionales o en tejas flexibles. Los sistemas resultantes son excepcionalmente duraderos (pp. 263-264).

Apéndice D. Células solares más usadas en la actualidad

En el mercado actual se encuentran innumerables tipos de células fotovoltaicas que distinguen por ciertas características, entre los más comunes se puede encontrar los siguiente:

Figura 28*Tipos de celdas solares más utilizadas*

Nota. Tomado de Centrales de energías renovables Carta-et al., (2009, fig. 6.41.).

Apéndice D1. Silicio cristalizado

Constan de una doble capa antirreflectante y una superficie frontal con pirámides invertidas minimizan las pérdidas ópticas. La oblea de silicio tiene un espesor de 400 μm , ofreciendo una larga trayectoria óptica y, por lo tanto, aumentando la absorción de fotones (Carta et al., 2009, p. 266).

Como tal se tienen dos importantes células que son las monocristalinas y policristalinas; las células monocristalinas se destacan por estar fabricadas con silicio de alta pureza y por esta razón las celdas tienen un color negro y son las más eficientes, alcanzando valores de 20%, estas celdas son las más adecuadas para la instalación en zonas donde la exposición a la luz solar no es muy alta por su alto rendimiento en estas condiciones. En cambio, los paneles compuestos por células policristalinas son más baratos, pero menos eficientes, y en su fabricación se funde el silicio

y se introduce en moldes con lo que se da forma a las células. En concreto, se estima que los paneles que incluyen este tipo de celdas pueden alcanzar hasta un máximo de 16% en la eficiencia debido que cuentan con menor cantidad de silicio (Redacción, 2022).

Apéndice D2. De películas delgadas

Se encuentra por detrás de la tecnología convencional en términos de eficiencia, pero es la más barata y ligera por lo que es óptima para su colocación en tejados. Estos módulos tienen un precio por vatio más bajo son menos sensibles que los módulos cristalinos convencionales a las elevaciones de temperatura (para las regiones calientes) así como a la luz difusa (Carta et al., 2009, p. 267).

Se tiene también los paneles amorfos que proporcionan un rendimiento inferior al 10%, tienen como ventaja su maleabilidad. Actualmente se instalan en tejados y superficies de edificios de oficinas donde se aplica en tamaños considerables por su adaptabilidad (Tobajas, 2014).

Otra de las tecnologías de película delgada es el telurio de cadmio, y está formada por una capa (tipo p) de telurio de cadmio, unida a una fina capa tipo n de CdS y finalmente formada por una capa de TCO (generalmente de SnO₂), la cual está conectada con el contacto eléctrico. Tienen un gran potencial de producirse a escala.

También se tiene el microsilio; esta tecnología espera mejorar los rendimientos y costes del silicio amorfo. Se espera que pronto sea un competidor de resto de materiales de películas delgadas. La alta eficiencia del microsilio y su baja degradación debido a la luz, hacen que las empresas industriales estén dedicando recursos a la investigación en esta tecnología.

Y por último se tiene células de dióxido de titanio que contiene capas que se utilizan para generar voltaje en lugar del material semiconductor que se utiliza en la mayoría de las células

fotovoltaicas. Debido a que el titanio resulta relativamente barato, ofrecen un gran potencial de reducción de costes (Carta et al., 2009).

Apéndice E. Análisis financiero

Apéndice E1. Costo presente neto (CPN)

Denominamos Costo Presente Neto (CPN) a la expresión que compara la inversión inicial con los flujos de caja actualizados (valor actual de los ingresos netos) que me proporciona mi inversión a lo largo de su vida útil.

$$CPN = -C_0 + \sum_{i=1}^n \frac{C_n}{(1+i)^n}$$

Donde:

$C_0 =$ La inversión inicial.

$C_n =$ El flujo de caja del año n .

$i =$ La tasa de descuento que quiero actualizar.

$\sum_{i=1}^n \frac{C_n}{(1+i)^n}$; Este termino hacer referencia a la actualización de los flujos de caja en los años “n” que estudiamos actualizándolos con una tasa de descuento i .

Cuanto más positivo sea el CPN, más me interesará hacer la inversión. Además me dice, a dinero actual, cual es la cantidad exacta que se va a obtener por realizar la inversión (Aranda & Scarpellini, 2009).

Apéndice E2. Costo nivelado de la electricidad (LCOE)

El LCOE es el valor del coste total actual de construir y operar una instalación generadora de energía a lo largo de toda su vida útil. De esta manera, mide los costes totales que esa instalación

tendrá a lo largo de toda su vida y los divide por la producción de energía que realizará también durante todos sus años de operación (Energya Vm, 2020).

$$LCOE = \frac{[(C * CRF) + F]}{8760 * Cf * E}$$

C = Costo total

F = Costo de mantenimiento anual.

Cf = Factor de capacidad.

E = Capacidad instalada.

$$CRF = \frac{[i(1 + i)^t]}{[(1 + i)^t - 1]}$$

i = La tasa de descuento.

t = Tiempo en años de operación.

Apéndice F. Dimensionamiento

Método del peor mes: Se realiza un balance de energía seleccionando el mes en el que se dan las condiciones más desfavorables del sistema. La idea es que, si el sistema funciona en este mes, funcionará también los demás meses del año. Presenta el inconveniente de que, al trabajar con un solo mes, no optimizará energéticamente la instalación ni cuantifica la fiabilidad (Bayod, 2009, p. 277).

Apéndice F1. Primera solución

En principio se calcula el rendimiento global de la instalación de acuerdo con las condiciones establecidas y se obtiene la siguiente tabla:

Tabla 26*Rendimiento global de la primera solución*

CONDICIONES	VARIABLE	COEFICIENTE
Acumuladores nuevos, sin descargas intensas	kb	0.05
Baterías estacionarias de energía solar	ka	0.005
Rendimiento inversor 90%	ki	0.012
Controlador de carga eficiente	kr	0.1
Si no se han tenido en cuenta pérdidas en el cableado y equipos	kv	0.1
Batería descargada hasta el 60% EST	Pd	0.6
Vivienda habitual	N	5
RENDIMIENTO GLOBAL DE LA INSTALACIÓN		70.725%

Con el valor del rendimiento se dimensiona la energía diaria necesaria, a partir del consumo diario:

$$E = \frac{19751}{70.725\%} = 27926.476 \text{ Wh}$$

Una vez calculada la energía diaria necesaria, se define la tensión del sistema en 48 V debido a que hay una óptima relación entre la tecnología y cantidades de equipos.

En la selección de componentes se tienen en cuenta unos criterios base independientes para cada uno; en los paneles solares, la potencia con relación a su costo, en los reguladores, la corriente y potencia que soportan, en las baterías la capacidad en relación con la tensión del sistema y en los inversores la potencia y la tensión del sistema. En la Tabla 11 se encuentra los componentes seleccionados y sus características.

Para establecer el número de paneles se tiene en cuenta:

$$N^{\circ} \text{ de paneles} = \frac{27926.476 \text{ Wh}}{4.46 * 540W} = 11.59 \text{ paneles}$$

Como el cálculo no da exacto, se toma la cantidad entera superior que sería 12 paneles, 2 en serie y 6 cadenas en paralelo para esta solución.

Para el regulador-controlador, debe soportar los siguientes valores:

$$I \text{ del regulador} = 6 * 13.11 * 1.1 = 86.53 \text{ A}$$

$$Potencia \text{ instalada} = 12 * 540 \text{ W} = 6480 \text{ W}$$

$$N^{\circ} \text{ de reguladores} = \frac{12 * 540 \text{ W}}{7000 \text{ W}} = 0.93$$

Para soportar las condiciones del sistema es necesario 1 regulador.

En este caso la capacidad de acumulación es:

$$Eb = \frac{4151 \text{ Wh}}{70.725\%} = 5869.21 \text{ Wh}$$

$$Capacidad \text{ de acumulación} = \frac{5869.21 \text{ Wh} * 5 \text{ días}}{0.6} = 48910.1 \text{ Wh}$$

Con la capacidad de acumulación y la capacidad de la batería seleccionada, se calcula el número de baterías necesarias:

$$N^{\circ} \text{ baterías} = \frac{48910.1 \text{ Wh}}{600 \text{ Ah} * 6 \text{ V}} = 13.59 \text{ baterías}$$

Con lo que se tiene que el número de baterías sea 16 y al ser cada una de 6 V se tiene 2 cadenas en paralelo cada una de 8 en serie.

Los valores de potencia que debe soportar el inversor son:

$$Potencia \text{ del inversor} = 4797 \text{ W} * 1.2 = 5756.4 \text{ W}$$

$$Potencia \text{ pico} = (3 * 1500 \text{ W}) + (4797 \text{ W} - 1500 \text{ W}) = 7797 \text{ W}$$

Son necesarios dos inversores de 3000 W a 48 V y soportan en potencia pico el doble de la capacidad nominal cada uno.

En esta solución se toma la caída de tensión como el 3% de 48 V que es 1.44 V, para así determinar la sección de los conductores en cumplimiento con los lineamientos del RETIE.

Además, se toma la longitud de 7 m.

$$s (\text{panel} - \text{regulador}) = \frac{2 * 7 \text{ m} * 86.53 \text{ A}}{56 * 1.44 \text{ V}} = 15.02 \text{ mm}^2$$

Esta sección es la mínima que debe tener un conductor, por lo tanto, se elige un conductor con una sección transversal superior y estandarizada, en este caso sería de 21.2 mm² que es equivalente a un 4 AWG.

En el tramo regulador a baterías se espera que la separación no sea muy grande, por lo que en este caso se toman 2 m de longitud. Debido en este tramo la intensidad de corriente es la misma que en el anterior, se elige la misma sección de 21.2 mm².

En el tramo de las baterías al inversor, se tiene un flujo máximo de 125 A, por lo que se elige un conductor de calibre 1 AWG.

La información de todo el sistema fotovoltaico está en la Figura 18, donde se aprecia en detalle la cantidad y disposiciones de cada componente.

Apéndice F2.Segunda solución

A continuación, se presentan los cálculos necesarios para obtener los datos de la solución.

Tabla 27

Rendimiento global de la segunda solución

CONDICIONES	VARIABLE	COEFICIENTE
Acumuladores nuevos, sin descargas intensas	kb	0.05
Baterías de baja autodescarga, sin mantenimiento	ka	0.002
Rendimiento inversor 95%	ki	0.005
Controlador de carga eficiente	kr	0.1
Si no se han tenido en cuenta pérdida en el cableado y equipos	kv	0.1
Batería descargada hasta el 90% LITIO	Pd	0.9
Vivienda habitual	N	5
RENDIMIENTO GLOBAL DE LA INSTALACIÓN		73.672%

Con el dato del rendimiento se dimensiona el consumo diario necesario:

$$E = \frac{\text{Consumo diario}}{R} = \frac{19751}{73.672\%} = 26809.29 \text{ Wh}$$

Ahora bien, se define la tensión del sistema a partir de las características de los componentes, se encuentra que la mejor opción es 48 V.

Para establecer el número de paneles se tiene en cuenta:

$$N^{\circ} \text{ de paneles} = \frac{26809.29 \text{ Wh}}{4.46 * 540W} = 11.13 \text{ paneles}$$

Como el cálculo no da exacto, se toma la cantidad entera superior que sería 12 paneles que conforman un arreglo de 6 en paralelo y 2 en serie para esta solución.

Para el regulador-controlador, debe soportar los siguientes valores:

$$I \text{ del regulador} = 6 * 13.11 * 1.1 = 86.526 \text{ A}$$

$$Potencia \text{ instalada} = 12 * 540 \text{ W} = 6480 \text{ W}$$

$$N^{\circ} \text{ de reguladores} = \frac{6480 \text{ W}}{7000 \text{ W}} = 0.92$$

Para soportar las condiciones del sistema es necesario 1 regulador. En este caso la capacidad de acumulación es:

$$Eb = \frac{4151 \text{ Wh}}{73.672\%} = 5634.43 \text{ Wh}$$

$$Capacidad \text{ de acumulación} = \frac{5634.43 \text{ Wh} * 5 \text{ días}}{0.9} = 31302.39 \text{ Wh}$$

Con la capacidad de acumulación y la capacidad de la batería seleccionada, se calcula el número de baterías necesarias:

$$N^{\circ} \text{ baterías} = \frac{31302.39 \text{ Wh}}{100 \text{ Ah} * 48 \text{ V}} = 6.52 \text{ baterías}$$

Con lo que se tiene que el número de baterías sea 7 y al ser cada una de 48 V, se configura un arreglo en paralelo.

Los valores de potencia que debe soportar el inversor son:

$$Potencia\ del\ inversor = 4797\ W * 1.2 = 5756.4\ W$$

$$Potencia\ pico = (3 * 1500\ W) + (4797\ W - 1500\ W) = 7797\ W$$

Son necesarios dos inversores de 3000 W a 48 V y soportan en potencia pico el doble de la capacidad nominal cada uno.

En esta solución se toma la caída de tensión como el 3% de 48 V que es 1.44 V, para así determinar la sección de los conductores en cumplimiento con los lineamientos del RETIE. Además, se toma la longitud de 7 m.

$$s\ (panel - regulador) = \frac{2 * 7\ m * 86.526\ A}{56 * 1.44\ V} = 15.02\ mm^2$$

Esta sección es la mínima que debe tener un conductor, por lo tanto, se elige una sección transversal superior y estandarizada, en este caso sería de 21.2 mm² que es equivalente a un 4 AWG.

En el tramo regulador a baterías se espera que la separación no sea muy grande, por lo que en este caso se toman 2 m de longitud. Debido a que en este tramo la intensidad de corriente es la misma que en el anterior, se elige la misma sección de 21.2 mm².

En el tramo de las baterías al inversor, se tiene un flujo máximo de 125 A, por lo que se elige un conductor de calibre 1 AWG.

Apéndice F3.Tercera solución

Según las tecnologías de la configuración 3 se tienen los siguientes coeficientes para el cálculo del rendimiento global.

Tabla 28

Rendimiento global de la tercera solución

CONDICIONES	VARIABLE	COEFICIENTE
Acumuladores nuevos, sin descargas intensas	kb	0.05

Baterías de baja autodescarga, sin mantenimiento	ka	0.002
Rendimiento inversor 90%	ki	0.012
Controlador de carga antiguo, poco eficiente	kr	0.15
Si no se han tenido en cuenta pérdida en el cableado y equipos	kv	0.1
Batería descargada hasta el 70% GEL	Pd	0.7
Vivienda habitual	N	5
RENDIMIENTO GLOBAL DE LA INSTALACIÓN		67.82%

Con el dato del rendimiento se dimensiona el consumo diario necesario:

$$E = \frac{\text{Consumo diario}}{R} = \frac{19751}{67.82\%} = 29123.905 \text{ Wh}$$

Ahora bien, se define la tensión del sistema a partir de las características de los componentes, se encuentra que la mejor opción es 24 V.

Para establecer el número de paneles se tiene en cuenta:

$$N^{\circ} \text{ de paneles} = \frac{29123.905 \text{ Wh}}{4.46 * 345W} = 18.9 \text{ paneles}$$

Como el cálculo no da exacto, se toma la cantidad entera superior sería 19 paneles para formar 19 cadenas en paralelo.

Para el regulador-controlador, debe soportar los siguientes valores:

$$I \text{ del regulador} = 19 * 9.1 * 1.1 = 190.19 \text{ A}$$

$$\text{Potencia instalada} = 19 * 345 \text{ W} = 6555 \text{ W}$$

$$N^{\circ} \text{ de reguladores} = \frac{6555 \text{ W}}{2200 \text{ W}} = 2.98$$

Para soportar las condiciones del sistema es necesario disponer de 4 reguladores en paralelo para soportar la máxima corriente del sistema fotovoltaico.

En este caso la capacidad de acumulación es:

$$Eb = \frac{4151 \text{ Wh}}{67.82\%} = 6120.87 \text{ Wh}$$

$$\text{Capacidad de acumulación} = \frac{6120.87 \text{ Wh} * 5 \text{ días}}{0.7} = 43720.51 \text{ Wh}$$

Con la capacidad de acumulación y la capacidad de la batería seleccionada, se calcula el número de baterías necesarias:

$$N^{\circ} \text{ baterías} = \frac{43720.51 \text{ Wh}}{316 \text{ Ah} * 12 \text{ V}} = 11.53 \text{ baterías}$$

Con lo que se tiene que el número de baterías sea 12 y al ser cada una de 12 V, se configura un arreglo de 6 cadenas en paralelo con 2 en serie para completar la tensión del sistema.

Los valores de potencia que debe soportar el inversor son:

$$\text{Potencia del inversor} = 4797 \text{ W} * 1.2 = 5756.4 \text{ W}$$

$$\text{Potencia pico} = (3 * 1500 \text{ W}) + (4797 \text{ W} - 1500 \text{ W}) = 7797 \text{ W}$$

Son necesarios dos inversores de onda modificada conectados en paralelo de 3000 W a 24 V y que soportan en potencia pico el doble de la capacidad nominal cada uno.

En esta solución se toma la caída de tensión como el 3% de 24 V que es 0.72 V, para así determinar la sección de los conductores en cumplimiento con los lineamientos del RETIE. Además, se toma la longitud de 7 m.

$$s (\text{panel} - \text{regulador}) = \frac{2 * 7 \text{ m} * 190.19 \text{ A}}{56 * 0.72 \text{ V}} = 66.04 \text{ mm}^2$$

Esta sección es la mínima que debe tener un conductor, por lo tanto, se elige una sección transversal superior y estandarizada, en este caso sería de 85 mm² que es equivalente a un 3/0 AWG. En el tramo regulador a baterías se toman 2 m de longitud y debido a que la intensidad de corriente es igual que en el anterior, se elige la misma sección de 85 mm².

En el tramo de las baterías al inversor, se tiene un flujo máximo de 250 A, por lo que se elige un conductor de calibre KCMIL 250 AWG.

Apéndice F4. Cuarta solución

Según las tecnologías de la configuración 4 se tienen los siguientes coeficientes para el cálculo del rendimiento global.

Tabla 29

Rendimiento global de la cuarta solución

CONDICIONES	VARIABLE	COEFICIENTE
Acumuladores nuevos, sin descargas intensas	kb	0.05
Baterías de baja autodescarga, sin mantenimiento	ka	0.002
Rendimiento inversor 90%	ki	0.012
Controlador de carga eficiente	kr	0.1
Si no se han tenido en cuenta pérdida en el cableado y equipos	kv	0.1
Batería descargada hasta el 70% GEL	Pd	0.7
Vivienda habitual	N	5
RENDIMIENTO GLOBAL DE LA INSTALACIÓN		72.75%

Con el dato del rendimiento se dimensiona el consumo diario necesario:

$$E = \frac{\text{Consumo diario}}{R} = \frac{19751}{72.746\%} = 27150.74 \text{ Wh}$$

Ahora bien, se define la tensión del sistema a partir de las características de los componentes, se encuentra que la mejor opción es 48 V.

Para establecer el número de paneles se tiene en cuenta:

$$N^{\circ} \text{ de paneles} = \frac{27150.74 \text{ Wh}}{4.46 * 345W} = 17.65 \text{ paneles}$$

Como el cálculo no da exacto, se toma la cantidad entera superior que sería 18 paneles para un arreglo de 2 en serie y 9 en paralelo para esta solución.

Para el regulador-controlador, debe soportar los siguientes valores:

$$I \text{ del regulador} = 9 * 9.1 * 1.1 = 90.09 \text{ A}$$

$$\text{Potencia instalada} = 18 * 345 \text{ W} = 6210 \text{ W}$$

$$N^{\circ} \text{ de reguladores} = \frac{6210 \text{ W}}{8000 \text{ W}} = 0.77$$

Los valores de potencia que debe soportar el inversor son:

$$\text{Potencia del inversor} = 4797 \text{ W} * 1.2 = 5756.4 \text{ W}$$

$$\text{Potencia pico} = (3 * 1500 \text{ W}) + (4797 \text{ W} - 1500 \text{ W}) = 7797 \text{ W}$$

Se tiene un inversor que soporta 6500 W y un pico de 15000 W.

Un inversor 3 en 1 puede soportar la potencia de los paneles y demanda máxima simultanea de la carga.

En este caso la capacidad de acumulación es:

$$Eb = \frac{4151 \text{ Wh}}{72.746\%} = 5706.18 \text{ Wh}$$

$$\text{Capacidad de acumulación} = \frac{5706.18 \text{ Wh} * 5 \text{ días}}{0.7} = 40758.43 \text{ Wh}$$

Con la capacidad de acumulación y la capacidad de la batería seleccionada, se calcula el número de baterías necesarias:

$$N^{\circ} \text{ baterías} = \frac{40758.43 \text{ Wh}}{316 \text{ Ah} * 12 \text{ V}} = 10.75 \text{ baterías}$$

Con lo que se tiene que el número de baterías es 12 y está conformado por 3 cadenas en paralelo con 4 en serie para completar la tensión del sistema.

La caída de tensión como el 3% de 48 V que es 1.44 V, para así determinar la sección de los conductores en cumplimiento con los lineamientos del RETIE. Además, se toma la longitud de 7 m.

$$s (\text{panel} - \text{regulador}) = \frac{2 * 7 \text{ m} * 90.09 \text{ A}}{56 * 1.44 \text{ V}} = 15.64 \text{ mm}^2$$

Esta sección es la mínima que debe tener un conductor, por lo tanto, se elige una sección transversal superior y estandarizada, en este caso sería de 33.6 mm² que es equivalente a un 2 AWG. En el tramo regulador a baterías se toman 2 m de longitud y debido a que la intensidad de corriente es igual que en el anterior, se elige la misma sección de 33.6 mm².

Apéndice F5. Quinta solución

Esta solución tiene los siguientes coeficientes para el cálculo del rendimiento global.

Tabla 30

Rendimiento global de la quinta solución

CONDICIONES	VARIABLE	COEFICIENTE
Acumuladores nuevos, sin descargas intensas	kb	0.05
Baterías estacionarias de energía solar	ka	0.005
Rendimiento inversor 90%	ki	0.012
Controlador de carga eficiente	kr	0.1
Si no se han tenido en cuenta pérdida en el cableado y equipos	kv	0.1
Batería descargada hasta el 60% EST	Pd	0.6
Vivienda habitual	N	5
RENDIMIENTO GLOBAL DE LA INSTALACIÓN		70.73%

Con el dato del rendimiento se dimensiona el consumo diario necesario:

$$E = \frac{\text{Consumo diario}}{R} = \frac{19751}{70.73\%} = 27926.476 \text{ Wh}$$

Ahora bien, se define la tensión del sistema a partir de las características de los componentes, se encuentra que la mejor opción es 48 V.

En la Tabla 22 se encuentran los resultados de los cálculos para los diferentes componentes.

Para establecer el número de paneles se tiene en cuenta:

$$N^{\circ} \text{ de paneles} = \frac{27926.476 \text{ Wh}}{4.46 * 540 \text{ W}} = 11.6 \text{ paneles}$$

Como el cálculo no da exacto, se toma la cantidad entera superior que sería 12 paneles para un arreglo de 2 en serie y 6 en paralelo para esta solución.

Para el regulador-controlador, debe soportar los siguientes valores:

$$I \text{ del regulador} = 6 * 13.11 * 1.1 = 86.53 \text{ A}$$

$$\text{Potencia instalada} = 12 * 540 \text{ W} = 6480 \text{ W}$$

$$N^{\circ} \text{ de reguladores} = \frac{6480 \text{ W}}{8000 \text{ W}} = 0.81$$

Los valores de potencia que debe soportar el inversor son:

$$\text{Potencia del inversor} = 4797 \text{ W} * 1.2 = 5756.4 \text{ W}$$

$$\text{Potencia pico} = (3 * 1500 \text{ W}) + (4797 \text{ W} - 1500 \text{ W}) = 7797 \text{ W}$$

Con lo anterior se requiere un inversor 3 en 1 que cumple las condiciones.

En este caso la capacidad de acumulación es:

$$Eb = \frac{4151 \text{ Wh}}{70.73\%} = 5869.212 \text{ Wh}$$

$$\text{Capacidad de acumulación} = \frac{5869.212 \text{ Wh} * 5 \text{ días}}{0.6} = 48910.1 \text{ Wh}$$

Con la capacidad de acumulación y la capacidad de la batería seleccionada, se calcula el número de baterías necesarias:

$$N^{\circ} \text{ baterías} = \frac{48910.1 \text{ Wh}}{600 \text{ Ah} * 6 \text{ V}} = 13.59 \text{ baterías}$$

Con lo que se tiene que el número de baterías es 16 de 6 V, 2 cadenas en paralelo con 8 en serie para completar la tensión del sistema.

Se calcula el tiempo necesario que el grupo electrógeno debe operar para producir la energía diaria del sistema fotovoltaico en situaciones de ausencia de generación solar:

$$\text{tiempo de operación} = \frac{E}{P_{\text{Electrógeno}}} = \frac{27926.48 \text{ Wh}}{6000 \text{ W}} = 4.65 \text{ horas}$$

El consumo es:

$$\text{Consumo del grupo electrógeno} = \frac{25 L}{8.5 h} = 2.94 L/h$$

$$\text{Consumo diario} = 2.95 \frac{L}{h} * 4.65h = 13.68 L \text{ ó } 3.62 gal$$

La caída de tensión como el 3% de 48 V que es 1.44 V, para así determinar la sección de los conductores en cumplimiento con los lineamientos del RETIE. Además, se toma la longitud de 7 m.

$$s (\text{panel} - \text{regulador}) = \frac{2 * 7 m * 86.53 A}{56 * 1.44 V} = 15.02 mm^2$$

Esta sección es la mínima que debe tener un conductor, por lo tanto, se elige una sección transversal superior y estandarizada, en este caso sería de 21.2 mm² que es equivalente a un 4 AWG. En el tramo regulador a baterías se toman 2 m de longitud y debido a que la intensidad de corriente es igual que en el anterior, se elige la misma sección de 21.2 mm².

Apéndice G. Cotizaciones

Los datos mostrados en las siguientes tablas corresponden a una consulta realizada en febrero de 2022.

Apéndice G1. Paneles solares

Tabla 31

Cotización de paneles solares

N°	Listado	Tecnología	Precio	Distribuidor
1	EcoGreen 150W	Policristalino	\$ 303,175	Autosolar
2	EcoGreen 200W	Policristalino	\$ 346,077	Autosolar
3	ERA Solar 200W	Policristalino	\$ 390,000	Autosolar
4	JA Solar 270W	Policristalino	\$ 418,500	Autosolar
5	ERA Solar 340W	Policristalino	\$ 464,000	Autosolar
6	EcoGreen 540W	MonoPERC	\$ 608,350	Autosolar

7	Jinko 395W	MonoPERC	\$ 522,510	SunColombia
8	EcoGreen 450W	MonoPERC	\$ 735,616	Autosolar
9	Csun 370W	MonoPERC	\$ 507,500	Autosolar
10	ERA Solar 325W	MonoPERC	\$ 516,949	Autosolar
11	JA Solar 340W	MonoPERC	\$ 556,056	Autosolar
12	EcoGreen 400W	MonoPERC	\$ 603,279	Autosolar
13	JA Solar 380W	MonoPERC	\$ 607,500	Autosolar
14	ERA Solar 400W	MonoPERC	\$ 644,828	Autosolar
15	Ja Solar 450W	MonoPERC	\$ 722,222	Autosolar
16	Ja Solar 455W	MonoPERC	\$ 764,636	Autosolar
17	Canadian Solar 445W	MonoPERC	\$ 770,915	Autosolar
18	Luxen Solar 590W	Monocristalino	\$ 1,062,000	Solartex
19	Risen Solar 590W	Monocristalino	\$ 1,189,000	Solartex
20	Longi 545W	Monocristalino	\$ 949,000	Solartex
21	Longi 540W	Monocristalino	\$ 924,000	Solartex
22	Jinko Tiger 465W	Monocristalino	\$ 849,000	Solartex
23	Luxen Solar 450W	Monocristalino	\$ 826,000	Solartex
24	Znshine Solar 445W	Monocristalino	\$ 859,000	Solartex
25	Jinko Tiger 445W	Monocristalino	\$ 819,000	Solartex
26	AE Solar 360W	Monocristalino	\$ 678,000	Solartex
27	Jinko 450W	MonoPERC	\$ 790,000	INELDEC
28	Znshine Solar 330W	Policristalino	\$ 595,000	Emergente
29	Znshine Solar 345W	Policristalino	\$ 528,000	Emergente
30	Canadian Solar 490W	MonoPERC	\$ 700,000	Emergente
31	ZnShine Solar 530W	MonoPERC	\$ 795,000	Emergente
32	Canadian Solar HiKu6 545W	MonoPERC	\$ 1,001,000	Emergente
33	Znshine Solar 430W	MonoPERC	\$ 759,000	Emergente

Apéndice G2. Reguladores

Tabla 32

Cotización de reguladores

N°	Listado	Tecnología	Precio	Distribuidor
1	Must PWM 40A 12-24V	PWM	\$ 168,000	autosolar
2	Must PWM 50A 12-24V	PWM	\$ 210,207	autosolar
3	Must PWM 60A 12-24V	PWM	\$ 238,000	autosolar
4	Allpowers 40A 12-24V	PWM	\$ 184,000	autosolar

5	Allpowers 60A 12-24V	PWM	\$ 253,000	autosolar
6	SRNE MPPT 30A 12-24V	MPPT	\$ 436,074	autosolar
7	SRNE MPPT 40A 12-24V	MPPT	\$ 560,579	autosolar
8	Must MPPT 80A 12-24-48V	MPPT	\$ 1,079,160	autosolar
9	SRNE MPPT 100A 12-24-48V	MPPT	\$ 2,027,481	autosolar
10	Growatt MPPT 80A 12-24-48V	MPPT	\$ 1,409,861	autosolar
11	Inti MPPT 30A 12-24V	MPPT	\$ 507,000	autosolar
12	SRNE MPPT 50A 12-24V	MPPT	\$ 696,923	autosolar
13	Inti MPPT 40A 12-24V	MPPT	\$ 1,105,000	autosolar
14	SRNE MPPT 60A 12-24-48V	MPPT	\$ 1,212,694	autosolar
15	Victron Energy MPPT 50A 12-24V	MPPT	\$ 1,339,000	autosolar
16	Growatt MPPT 120A 12-24-48V	MPPT	\$ 1,401,728	autosolar
17	Victron Energy MPPT 150/35 12-24-48V	MPPT	\$ 1,430,000	autosolar
18	SRNE MPPT 85A 12-24-48V	MPPT	\$ 1,815,827	autosolar
19	Victron Energy MPPT 150/45 12-24-48V	MPPT	\$ 2,015,000	autosolar
20	Victron Energy MPPT 150/60 12-24-48V	MPPT	\$ 2,236,000	autosolar
21	Victron Energy MPPT 150/70 12-24-48V	MPPT	\$ 2,470,000	autosolar
22	Victron Energy MPPT 250/60 12-24-48V	MPPT	\$ 2,925,000	autosolar
23	Victron Energy MPPT 150/85 12-24-48V	MPPT	\$ 3,120,000	autosolar
24	Victron Energy MPPT 250/70 12-24-48V	MPPT	\$ 3,315,000	autosolar
25	Victron Energy MPPT 250/85 12-24-48V	MPPT	\$ 3,794,700	autosolar
26	Victron Energy MPPT 250/100 12-24-48V	MPPT	\$ 4,244,500	autosolar
27	Epever PWM 60A 12-24V	PWM	\$ 342,000	solartex
28	SRNE PWM 40A 12-24V	PWM	\$ 129,000	solartex
29	SRNE PWM 50A 12-24V	PWM	\$ 172,000	solartex
30	SRNE PWM 60A 12-24V	PWM	\$ 219,000	solartex
31	Must MPPT 100A 12-24-48V	MPPT	\$ 1,140,000	solartex
32	SRNE MPPT 40A 12-24V	MPPT	\$ 589,000	solartex
33	Lumiax MPPT 40A 12-24V	MPPT	\$ 547,000	solartex
34	SRNE MPPT 50A 12-24V	MPPT	\$ 615,000	solartex
35	PowMr MPPT 60A 12-24-48V	MPPT	\$ 890,000	solartex
36	Must MPPT 80A 12-24-48V	MPPT	\$ 980,000	solartex
37	Studer MPPT 120A 48V	MPPT	\$ 8,960,000	solartex
38	Ipanda MPPT 100A 12-24-48V	MPPT	\$ 1,890,000	solartex
39	Epever Tracer MPPT 100A 12-24-48V	MPPT	\$ 2,560,000	solartex
40	Ipanda MPPT 60A 12-24V	MPPT	\$ 858,000	solartex
41	SRNE MPPT 85A 12-24-48V	MPPT	\$ 1,760,000	solartex
42	Victron Energy MPPT 100/50 12-24-48V	MPPT	\$ 969,700	suncolombia
43	Outback Power MPPT 150/80 12-24-48-60V	MPPT	\$ 3,334,400	suncolombia

44	Solar Charger PWM 40A 12-24V	PWM	\$ 110,000	emergente
45	Solar Charger PWM 50A 12-24V	PWM	\$ 147,000	emergente
46	Solar Charger PWM 60A 12-24V	PWM	\$ 187,000	emergente
47	SRNE MPPT 40A 12-24V	MPPT	\$ 451,000	emergente
48	SRNE MPPT 50A 12-24V	MPPT	\$ 531,000	emergente
49	Epever PWM 60A 12-24V	PWM	\$ 766,260	ingesolar
50	Solar Charge PWM 60A 12-24V	PWM	\$ 202,800	ingesolar
51	Epever MPPT 40A 24V	MPPT	\$ 441,540	ingesolar
52	Must MPPT 60A 12-24-48V	MPPT	\$ 624,030	ingesolar
53	Must MPPT 80A 12-24-48V	MPPT	\$ 702,020	ingesolar
54	Must MPPT 100A 12-24-48V	MPPT	\$ 840,070	ingesolar
55	Epever MPPT 100A 12-24-48V	MPPT	\$ 1,670,900	ingesolar
56	Must MPPT 100A 12-24-48V	MPPT	\$ 1,290,000	ecogreensolar
57	Must PWM 50A 48V	PWM	\$ 245,000	autosolar
58	Must PWM 60A 48V	PWM	\$ 287,000	autosolar
59	Epever PWM 60A 48V	PWM	\$ 696,000	ingesolar
60	Epever PWM 45A 48V	PWM	\$ 620,000	ingesolar

Apéndice G3. Baterías

Tabla 33

Cotización baterías

N°	Listado	Tecnología	Precio	Distribuidor
1	Kaise AGM 150Ah	AGM	\$ 1,226,072	Autosolar
2	Tensite AGM 250 Ah	AGM	\$ 1,428,000	Autosolar
3	Ultracell AGM 250Ah	AGM	\$ 1,526,175	Autosolar
4	Tensite AGM 150Ah	AGM	\$ 1,553,567	Autosolar
5	Tensite AGM 300Ah	AGM	\$ 1,730,909	Autosolar
6	Tb Plus AGM 40Ah	AGM	\$ 311,018	Autosolar
7	Tensite AGM 100Ah	AGM	\$ 680,680	Autosolar
8	Tensite GEL 500Ah	GEL	\$ 1,511,392	Autosolar
9	Tensite GEL 250Ah	GEL	\$ 1,564,981	Autosolar
10	Tensite GEL 300Ah	GEL	\$ 1,779,279	Autosolar
11	Tensite GEL 100Ah	GEL	\$ 890,854	Autosolar
12	Tensite GEL 150Ah	GEL	\$ 1,084,000	Autosolar
13	Tensite GEL 40Ah	GEL	\$ 422,836	Autosolar
14	Tensite GEL 90Ah	GEL	\$ 793,722	Autosolar

15	Ultracell GEL 115Ah	GEL	\$ 803,250	Autosolar
16	Ultracell GEL 230Ah	GEL	\$ 1,445,850	Autosolar
17	Ultracell GEL 316Ah	GEL	\$ 1,666,000	Autosolar
18	Tb Plus GEL 100Ah	GEL	\$ 738,990	Autosolar
19	Tb Plus GEL 150Ah	GEL	\$ 1,174,352	Autosolar
20	Tb Plus GEL 200Ah	GEL	\$ 1,441,994	Autosolar
21	Tb Plus GEL 250Ah	GEL	\$ 1,751,085	Autosolar
22	Ultracell EST-600Ah	ESTACIONARIA	\$ 1,949,220	Autosolar
23	Tensite EST-820Ah	ESTACIONARIA	\$ 1,252,368	Autosolar
24	Tensite EST-1380Ah	ESTACIONARIA	\$ 1,984,325	Autosolar
25	Tensite EST-1110Ah	ESTACIONARIA	\$ 3,371,667	Autosolar
26	Ultracell EST-1350Ah	ESTACIONARIA	\$ 3,570,000	Autosolar
27	Ultracell EST-600Ah	ESTACIONARIA	\$ 1,670,760	Autosolar
28	Pylontech 2.4kWh	LITIO	\$ 5,080,720	Autosolar
29	Next City LITIO 100Ah	LITIO	\$ 9,453,360	Emergente
30	Next City LITO 100Ah	LITIO	\$ 4,671,940	Emergente
31	Next Cty LITIO 120Ah	LITIO	\$ 5,050,000	Emergente
32	Next City LITIO 150Ah	LITIO	\$ 6,314,000	Emergente
33	Next City LITIO 200Ah	LITIO	\$ 8,778,522	Emergente
34	Next City LITIO 100Ah	LITIO	\$ 9,453,360	Emergente
35	Next City LITIO 50Ah	LITIO	\$ 4,673,130	Emergente
36	Next City LITIO 80Ah	LITIO	\$ 7,081,466	Emergente
37	Newmax SG GEL 150Ah	GEL	\$ 1,335,180	Emergente
38	Newmax SG GEL 250Ah	GEL	\$ 1,827,840	Emergente
39	Newmax SG GEL 65Ah	GEL	\$ 680,680	Emergente
40	Newmax SG GEL 200Ah	GEL	\$ 1,744,540	Emergente
41	Newmax SG GEL 100Ah	GEL	\$ 892,500	Emergente
42	BlueCarbon LITIO 130Ah	LITIO	\$ 3,141,600	Emergente
43	BlueCarbon LITIO 150Ah	LITIO	\$ 3,712,800	Emergente
44	BlueCarbon LITIO 200Ah	LITIO	\$ 2,460,000	Emergente

Apéndice G4. Inversores

Tabla 34

Cotización inversores

N°	Listado	Tecnología	Precio	Distribuidor
----	---------	------------	--------	--------------

1	Belttt 12V 1000W 110V	Onda Pura	\$ 653,950	autosolar
2	Victron Energy Phoenix 12V 1200VA 120V	Onda Pura	\$ 1,746,600	autosolar
3	Victron Energy Multiplus 12V 2000VA 120V	Onda Pura	\$ 4,920,000	autosolar
4	Victron Energy Phoenix 12V 3000VA 120V	Onda Pura	\$ 5,227,500	autosolar
5	Victron Energy Multiplus 12V 3000VA 120V	Onda Pura	\$ 5,535,000	autosolar
6	Victron Energy Quattro 12V 5000VA 120V	Onda Pura	\$ 14,514,000	autosolar
7	Victron Energy Multiplus 24V 3000VA 120V	Onda Pura	\$ 5,537,982	autosolar
8	Victron Energy Quattro 24V 5000VA 120V	Onda Pura	\$ 11,682,000	autosolar
9	Victron Energy Phoenix 24V 1200VA 120V	Onda Pura	\$ 1,783,500	autosolar
10	Victron Energy Multiplus 24V 2000VA 120V	Onda Pura	\$ 4,981,500	autosolar
11	Victron Energy Phoenix 24V 3000VA 120V	Onda Pura	\$ 5,289,000	autosolar
12	Victron Energy Multiplus 24V 3000VA 120V	Onda Pura	\$ 5,535,000	autosolar
13	Victron Energy Quattro 48V 5000VA 120V	Onda Pura	\$ 10,800,695	autosolar
14	Victron Energy Phoenix 48V 1200VA 120V	Onda Pura	\$ 1,869,600	autosolar
15	Victron Energy Quattro 48V 3000VA 120V	Onda Pura	\$ 7,875,000	autosolar
16	Victron Energy Quattro 48V 10000VA 120V	Onda Pura	\$ 16,801,800	autosolar
17	Victron Energy Multiplus 24V 2000VA 120V	Onda Pura	\$ 4,015,000	suncolombia
18	SMA Sunny Island 48V 5000W 120V	Onda Pura	\$ 16,937,100	suncolombia
19	Victron Energy Quattro 48V 3000VA 120V	Onda Pura	\$ 6,445,700	suncolombia
20	Procet Scientific 12V 2000W 110V	Onda Pura	\$ 1,060,000	solartex
21	Procet Scientific 12V 3000W 110V	Onda Pura	\$ 1,584,000	solartex
22	SYG Sesolar 12V 1200W 110V	Onda Pura	\$ 687,000	solartex
23	SYG Sesolar 12V 1500W 110V	Onda Pura	\$ 823,000	solartex
24	Epever 12V 1500W 120V	Onda Pura	\$ 972,000	solartex
25	Belttt 12V 2000W 120V	Onda Pura	\$ 1,392,000	solartex
26	Belttt 12V 3000W 120V	Onda Pura	\$ 1,929,000	solartex
27	Epever 12V 3000W 120V	Onda Pura	\$ 2,927,000	solartex
28	Procet Scientific 24V 1500W 110V	Onda Pura	\$ 849,000	solartex
29	Procet Scientific 24V 2000W 110V	Onda Pura	\$ 1,060,000	solartex
30	Procet Scientific 24V 3000W 110V	Onda Pura	\$ 1,584,000	solartex
31	SYG Sesolar 24V 1200W 110V	Onda Pura	\$ 687,000	solartex
32	Epever 24V 1500W 120V	Onda Pura	\$ 972,000	solartex

33	Belttt 24V 1500W 120V	Onda Pura	\$ 1,060,000	solartex
34	SYG Sesolar 24V 2000W 110V	Onda Pura	\$ 1,030,000	solartex
35	Epever 24V 2000W 120V	Onda Pura	\$ 1,190,000	solartex
36	Belttt 24V 2000W 120V	Onda Pura	\$ 1,392,000	solartex
37	Belttt 24V 3000W 120V	Onda Pura	\$ 1,929,000	solartex
38	Belttt 24V 5000W 120V	Onda Pura	\$ 2,690,000	solartex
39	Belttt 48V 5000W 120V	Onda Pura	\$ 3,072,000	solartex
40	Epever 48V 2000W 120V	Onda Pura	\$ 1,680,000	solartex
41	Epever 48V 3000W 120V	Onda Pura	\$ 1,940,000	solartex
42	Belttt 12V 1000W 110V	Onda Pura	\$ 546,000	emergente
43	Belttt 12V 1500W 110V	Onda Pura	\$ 713,000	emergente
44	Belttt 12V 2000W 120V	Onda Pura	\$ 936,000	emergente
45	Belttt 12V 3000W 120V	Onda Pura	\$ 1,296,000	emergente
46	Belttt 24V 1000W 110V	Onda Pura	\$ 546,000	emergente
47	Belttt 24V 1500W 110V	Onda Pura	\$ 713,000	emergente
48	Belttt 24V 2000W 120V	Onda Pura	\$ 961,000	emergente
49	Belttt 24V 3000W 120V	Onda Pura	\$ 1,296,000	emergente
50	Belttt 24V 5000W 120V	Onda Pura	\$ 1,808,000	emergente
51	Belttt 48V 5000W 120V	Onda Pura	\$ 2,065,000	emergente
52	Epever 12V 1000W 120V	Onda Pura	\$ 575,000	ineldec
53	Epever 12V 1500W 120V	Onda Pura	\$ 650,000	ineldec
54	Epever 24V 1000W 120V	Onda Pura	\$ 585,000	ineldec
55	Epever 24V 2000W 120V	Onda Pura	\$ 750,000	ineldec
56	Belttt 12V 1000W 110V	Onda Pura	\$ 674,000	sunny future
57	Belttt 12V 2000W 120V	Onda Pura	\$ 1,231,000	sunny future
58	Belttt 12V 3000W 120V	Onda Pura	\$ 1,579,000	sunny future
59	Belttt 24V 5000W 120V	Onda Pura	\$ 2,259,000	sunny future
60	Epever 12V 1000W 120V	Onda Pura	\$ 795,000	ecogreensolar
61	Epever 24V 2000W 120V	Onda Pura	\$ 985,000	ecogreensolar
62	Palma 24V 1000W 120-230V	Onda Pura	\$ 1,195,000	ecogreensolar
63	Epever 48V 2000W 120V	Onda Pura	\$ 1,380,000	ecogreensolar
64	Palma 24V 1500W 120-230V	Onda Pura	\$ 1,480,000	ecogreensolar
65	Belttt OM 12V 1000W 110V	Onda Modificada	\$ 256,000	solartex
66	Belttt OM 24V 1000W 110V	Onda Modificada	\$ 256,000	solartex
67	Belttt OM 12V 500W 110V	Onda Modificada	\$ 169,000	solartex
68	Belttt OM 12V 1000W 110V	Onda Modificada	\$ 201,000	emergente
69	Belttt BEM OM 24V 1000W 110V	Onda Modificada	\$ 281,000	emergente
70	Belttt BEM OM 12V 1500W 110V	Onda Modificada	\$ 315,000	emergente

71	Belttt BEM OM 24V 1500W 110V	Onda Modificada	\$ 315,000	emergente
72	Power Inverter OM 24V 2000W 120-240V	Onda Modificada	\$ 582,000	ingesolar
73	Power Inverter OM 12V 2000W 120-240V	Onda Modificada	\$ 582,000	ingesolar
74	Belttt BEM OM 12V 1500W 110V	Onda Modificada	\$ 349,700	cosostenible
75	Belttt BEM OM 12V 1000W 110V	Onda Modificada	\$ 312,000	cosostenible
76	Belttt OM 24V 1000W 110V	Onda Modificada	\$ 198,900	cosostenible
77	Paco OM 12V 1000W 110V	Onda Modificada	\$ 560,000	ecogreensolar
78	Paco OM 12V 1200W 110V	Onda Modificada	\$ 630,000	ecogreensolar
79	Paco OM 12V 1500W 110V	Onda Modificada	\$ 790,000	ecogreensolar
80	Paco OM 12V 2000W 110V	Onda Modificada	\$ 1,100,000	osakaelectronics
81	Universal Powers OM 12V 1000W 110V	Onda Modificada	\$ 289,060	osakaelectronics
82	Universal Powers OM 12V 1500W 110V	Onda Modificada	\$ 385,000	osakaelectronics
83	Universal Powers OM 24V 1500W 110V	Onda Modificada	\$ 349,000	osakaelectronics
84	Paco OM 24V 2000W 110V	Onda Modificada	\$ 1,166,200	osakaelectronics
85	Paco OM 12V 3000W 110V	Onda Modificada	\$ 1,789,000	osakaelectronics
86	Paco OM 12V 4000W 110V	Onda Modificada	\$ 2,436,280	osakaelectronics
87	Paco OM 12V 1500W 110V	Onda Modificada	\$ 598,750	amvarworld
88	Paco OM 12V 2000W 110V	Onda Modificada	\$ 980,000	amvarworld
89	Paco OM 12V 3000W 110V	Onda Modificada	\$ 1,376,400	amvarworld
90	Paco OM 12V 4000W 110V	Onda Modificada	\$ 1,205,800	amvarworld
91	Paco OM 12V 5000W 110V	Onda Modificada	\$ 2,500,000	amvarworld
92	Paco OM 24V 2000W 110V	Onda Modificada	\$ 900,000	amvarworld
93	Paco OM 24V 3000W 110V	Onda Modificada	\$ 1,201,500	amvarworld

*Apéndice G5. Inversores 3 en 1***Tabla 35***Cotizaciones de Inversores 3 en 1*

N°	Listado	Controlador	Inversor	Precio	Distribuidor
1	Must 4000W 48V 80A	MPPT	Onda Pura	\$ 1,800,000	autosolar
2	Must 5000W 48V 80A	MPPT	Onda Pura	\$ 2,148,937	autosolar
3	Must 2000W 24V 80A	MPPT	Onda Pura	\$ 2,055,412	autosolar
4	Must 3000W 24V 80A	MPPT	Onda Pura	\$ 2,360,421	autosolar
5	Must 3000W 24V 80A	MPPT	Onda Pura	\$ 2,076,923	autosolar
6	Growatt 3000W 24V 80A	MPPT	Onda Pura	\$ 2,492,434	autosolar
7	Must 4000W 48V 80A	MPPT	Onda Pura	\$ 2,684,615	autosolar
8	Must 6000W 48V 80A	MPPT	Onda Pura	\$ 3,239,500	autosolar
9	Growatt 3000W 48V 80A	MPPT	Onda Pura	\$ 2,733,051	autosolar
10	Growatt 3000W 48V 80A	MPPT	Onda Pura	\$ 4,687,102	autosolar
11	Growatt 4000W 48V 80A	MPPT	Onda Pura	\$ 3,500,000	autosolar
12	Growatt 5000W 48V 80A	MPPT	Onda Pura	\$ 3,625,000	autosolar
13	Growatt 6000W 48V 80A	MPPT	Onda Pura	\$ 5,040,255	autosolar
14	Growatt 8000W 48V 120A	MPPT	Onda Pura	\$ 7,993,750	autosolar
15	Growatt 12000W 48V 120A	MPPT	Onda Pura	\$ 8,670,648	autosolar
16	Must 2000W 24V 80A 220V	MPPT	Onda Pura	\$ 2,230,000	solartex
17	Must 3000W 24V 80A 220V	MPPT	Onda Pura	\$ 2,390,000	solartex
18	Must 4000W 48V 80A 220V	MPPT	Onda Pura	\$ 3,290,000	solartex
19	Must 4000W 48V 80A	MPPT	Onda Pura	\$ 3,770,000	solartex
20	Voltronic 6500W 48V 120A	MPPT	Onda Pura	\$ 5,430,000	solartex
21	Powest 3000W 48V 60A	MPPT	Onda Pura	\$ 2,790,000	solartex
22	Epever 3000W 48V 50A	MPPT	Onda Pura	\$ 3,405,000	solartex

Apéndice G6. Grupos electrógenos

N°	Descripción	Precio
1	Arvek 1200W 110V	\$ 1,091,900
2	Arvek 900W 110V	\$ 688,900
3	Arvek 5000W 110/220 V	\$ 4,599,900
4	Arvek 5500W 110/220 V	\$ 3,607,900
5	Arvek 2500W 110/220	\$ 1,730,900
6	Arvek 7000W 110/220 V	\$ 3,864,900
7	Arvek 5000W 110/220 V Diesel	\$ 5,701,900

8	Power Master 2400W 120/240V	\$ 1,949,900
9	Power Master 3300W 110/220V	\$ 1,764,900
10	Power Master 5500W 120V	\$ 3,969,900
11	Bauker 6000W 110V	\$ 2,999,900
12	Arvek 5000W 110/220 V	\$ 5,859,900
13	Bauker 2200W 110V	\$ 1,699,900

Apéndice H. Fichas técnicas

Apéndice H1.Paneles solares

Figura 29

Ficha técnica Ecogreen

ATLAS
530-550 W / 144 Cells / 10 Bus Bars
Monocrystalline Module
ECE-530-550W-144M (M10)

Eco Green Energy's modules are only made of grade A solar cells with a very high efficiency and ensured more than 25 years lifespan.

KEY FEATURES

- Lower LCOE and BOS
- Anti PID/ Low LID protection
- Less Hot Spot Shading effects
- Lower temperature coefficient
- More power output in weak light condition, such as haze, cloudy, and morning.

CERTIFICATES
ISO 9001:2015 / PV CYCLE / CE

LINEAR PERFORMANCE WARRANTY
12-Year Product Warranty - 25-Year Linear Power Warranty

25 YEARS OUTPUT POWER WARRANTY

12 YEARS PRODUCT WARRANTY

UL, CQC, TUV, CE, RETIE, PV CYCLE, IEC, TUV, UL, N

ELECTRICAL DATA AT STC*

Power output (Pmax)	530 W	535 W	540 W	545 W	550 W
Power tolerance	0~+5 W	0~+5 W	0~+5 W	0~+5 W	0~+5 W
Module efficiency	20.7 %	20.9 %	21.1 %	21.3 %	21.5 %
Maximum power voltage (Vmp)	40.80 V	41.00 V	41.20 V	41.40 V	41.60 V
Maximum power current (Imp)	13.00 A	13.05 A	13.11 A	13.17 A	13.23 A
Open circuit voltage (Voc)	49.00 V	49.20 V	49.40 V	49.60 V	49.80 V
Short circuit current (Isc)	13.76 A	13.81 A	13.87 A	13.93 A	13.99 A

*Standard Test Conditions: Irradiance: 1 000 W / m² • Cell temperature: 25°C • AM: 1.5

ELECTRICAL DATA AT NMOT*

Power output (Pmax)	395 W	399 W	402 W	406 W	410 W
Maximum power voltage (Vmp)	38.00 V	38.20 V	38.40 V	38.60 V	38.80 V
Maximum power current (Imp)	10.40 A	10.44 A	10.49 A	10.54 A	10.58 A
Open circuit voltage (Voc)	45.90 V	46.10 V	46.30 V	46.40 V	46.60 V
Short circuit current (Isc)	11.09 A	11.13 A	11.18 A	11.23 A	11.28 A

*Nominal Operating Cell Temperature: Irradiance: 800 W / m² • Ambient temperature: 20°C • AM: 1.5 • Wind speed: 1 m/s

TEMPERATURE CHARACTERISTICS

NMOT	41 °C ±3 °C
Temperature coefficient of Pmax	-0.36%/°C
Temperature coefficient of Voc	-0.28%/°C
Temperature coefficient of Isc	+0.05%/°C

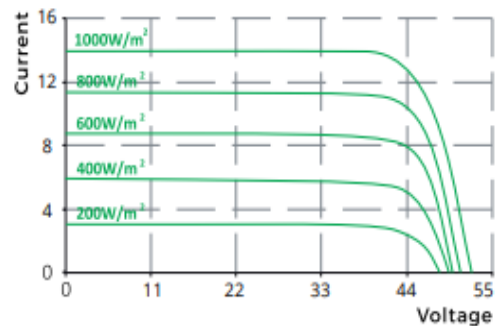
MAXIMUM RATINGS

Operating temperature range	-40 °C ~+85 °C
Maximum system voltage	1500V
Max series fuse rating	25 A
Max front load (e.g.: snow)	5400 Pa
Max back load (e.g.: wind)	2400 Pa

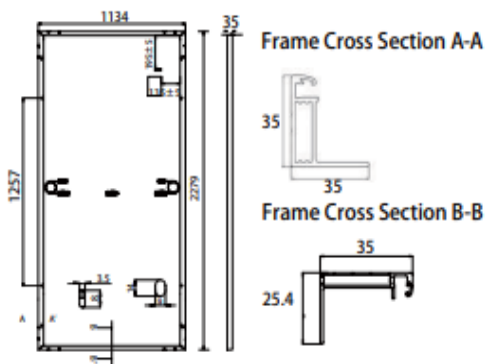
MECHANICAL CHARACTERISTICS

Cell type	Monocrystalline (182x182 mm)
Number of cells	144
Dimensions	2279x1134x35mm (1.5mm Cell Gap)
Weight	29 kg
Glass	3.2 mm tempered glass
Frame	Anodized aluminium alloy
Junction box	IP68
Cable	4.0 mm ² Landscape: N 1400mm/P 1400mm Portrait: N 200mm/P 300mm
Connector	MC4 compatible

I-V CURVES



ENGINEERING DRAWINGS (mm)




PACKAGING (2279x1134x35mm)

Type	Pcs/ Type	Weight
Per Pallet	30 pcs	910 kg
20ft GP Container	240pcs (5pallets+45cartons)	7.28 t
40ft GP Container	510PCS (10pallets+105cartons)	15.47 t
40ft HQ Container	600PCS (20pallets)	18.20 t

Figura 30

Ficha técnica Zshine

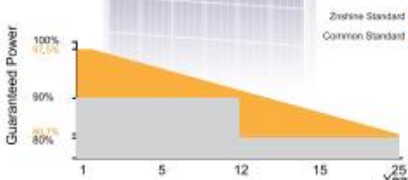


ZXP6-72 Series






5BB Polycrystalline PV Module

325-350W **18.00%** **0.70%**
POWER RANGE **MAXIMUM EFFICIENCY** **YEARLY DEGRADATION**

12 12 YEARS PRODUCT WARRANTY **25** 25 YEARS OUTPUT GUARANTEE



■ Zshine Standard
■ Common Standard

IEC 61215/IEC 61730/IEC 61701/IEC 62716/UL6 1730
 ISO 14001: Environmental Management System
 ISO 9001: Quality Management System
 ISO45001: Occupational Health and Safety Management System

*Please check the valid version of Limited Product Warranty which is officially released by ZNSHINE PV-TECH Co., Ltd.

*As there are different certification requirements in different markets, please contact your local zshine sales representative for the specific certificates applicable to the products in the region in which the products are to be used.

KEY FEATURES



Excellent cells efficiency

5 busbar solar cell adopts new technology to improve the efficiency of modules , offers a better aesthetic appearance, making it perfect for rooftop installation.



Better Weak Illumination Response

More power output in weak light condition, such as haze, cloudy, and early morning.



Anti PID

Ensured PID resistance through the quality control of cell manufacturing process and raw materials.



Adapt To Harsh Outdoor Environment

Resistant to harsh environments such as salt, ammonia, sand, high temperature and high humidity environment.



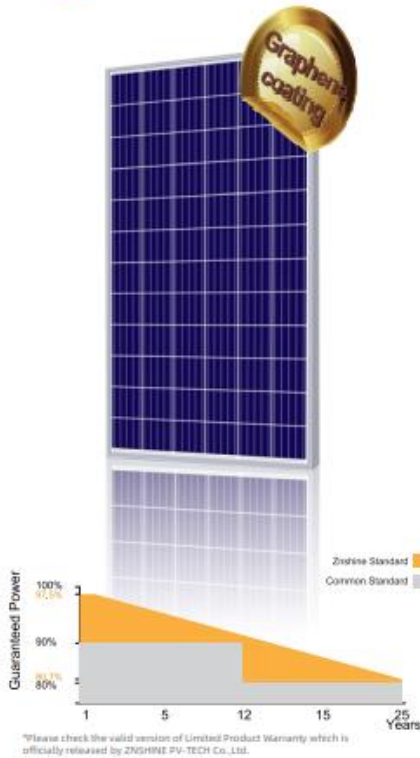
TIER 1

Global, Tier 1 bankable brand, with independently certified advanced automated manufacturing.



Excellent Quality Management System

Warranted reliability and stringent quality assurances well beyond certified requirements.



ZXP6-72 Series

5BB Polycrystalline PV Module

325-350W **18.00%** **0.70%**
POWER RANGE **MAXIMUM EFFICIENCY** **YEARLY DEGRADATION**

12 12 YEARS PRODUCT WARRANTY **25** 25 YEARS OUTPUT GUARANTEE



IEC 61215/IEC 61730/IEC 61701/IEC 62716/UL6 1730
 ISO 14001: Environmental Management System
 ISO 9001: Quality Management System
 ISO45001: Occupational Health and Safety Management System

*As there are different certification requirements in different markets, please contact your local znshine sales representative for the specific certificates applicable to the products in the region in which the products are to be used.

KEY FEATURES



Excellent cells efficiency

5 busbar solar cell adopts new technology to improve the efficiency of modules, offers a better aesthetic appearance, making it perfect for rooftop installation.



Better Weak Illumination Response

More power output in weak light condition, such as haze, cloudy, and early morning.



Anti PID

Ensured PID resistance through the quality control of cell manufacturing process and raw materials.



Adapt To Harsh Outdoor Environment

Resistant to harsh environments such as salt, ammonia, sand, high temperature and high humidity environment.



TIER 1

Global, Tier 1 bankable brand, with independently certified advanced automated manufacturing.



Excellent Quality Management System

Warranted reliability and stringent quality assurances well beyond certified requirements.

*Apéndice H2. Reguladores***Figura 31***Ficha técnica Growatt SC48120*

Datasheet	SC 4860	SC 4880	SC 48100	SC 48120
Compatible Battery Nominal Voltage	12V/24V/48V			
ELECTRICAL				
PV Operating Voltage	18–50Vdc@12V 34–100Vdc@24V 60–145Vdc@48V			
Max.PV Open Circuit Voltage	150Vdc			
Max. Recommended PV Power	1000W@12V 2000W@24V 4000W@48V	1250W@12V 2500W@24V 5000W@48V	1500W@12V 3000W@24V 6000W@48V	1750W@12V 3500W@24V 7000W@48V
Max.Charging Current	60A	80A	100A	120A
Self Consumption	2W			
MPPT Efficiency	99.5%			
Max.Efficiency	97.5%			
Protection	Overload,high voltage, high temperature protection			
BATTERY CHARGING				
Battery Type	Lithium/Sealed: AGM, Gel, Flooded,User define			
Charging Algorithm	3-stage: Bulk, Absorption, Float, Equalize			
Bulk Charge Voltage	14.1V@12V 28.2V@24V 56.4V@48V User define:48–58.4V			
Float Charge Voltage	13.6V@12V 27.2V@24V 54.4V@48V User define:48–58.4V			
Temperature Compensation	-5mV/°C with BTS(Optional)			
COMMUNICATION				
Communication Port	USB,BMS			
MECHANICAL				
Net Weight (kgs)	3	3.2	3.9	4.1
Gross Weight (kgs)	3.7	3.9	4.5	4.7
Dimensions (W/H/D)	295/180/100mm		320/200/105mm	
Cooling	Fan cooling			
Protection Degree	IP20			
ENVIRONMENT				
Ambient Temperature	-20–55°C(Derating from 45°C)			
Storage Temperature	-40°C~+60°C			
Humidity	100% non-condensing			
Altitude	<2000m			

Figura 32

Ficha técnica SRNE HP2460

Parameter Details					
Model	HP2430/2440	HP2450/2460	HP4830/4840	Remarks	
Rated current	30A/40A	50A/60A	30A/40A		
System voltage	Automatic recognition of 12V/24V		48V		
No-load loss	< 13mA/12V ; < 15mA/24V		<20mA		
Max. Solar energy input voltage	<55V		<110V		
Max. voltage at the battery end	<34V		<68V		
Battery type	Parameters				Default SLD
	Flooded FLD	Sealed SLD	GEL GEL	Lithium LI	
Overvoltage protection	16.0V				×1/12V ; ×2/24V ; ×4/48V ;
Equalizing charging voltage	14.8V	14.6V	–	–	
Boost charging voltage	14.6V	14.4V	14.2V	14.4V	
Floating charging voltage	13.8V	13.8V	13.8V	–	
Charging recovery voltage	13.2V				
Over-discharge recovery voltage	12.5V (settable with the keys)				
Over-discharge voltage	11.0V (settable with the keys)				
Equalizing charging interval	30days		–	–	
Equalizing charging time	1H		–	–	
Boost charging time	2H		–	–	
Temperature compensation	-3.0mV/°C/2V		–	–	
Light control voltage	Light control on 5V, light control off 6 V (light control on plus 1 V)			×1/12V ; ×2/24V ; ×4/48V ;	
Light control judgment time	10minutes				
USB function	Yes	No	No		
Operating temperature	-25°Cto+55°C ;				
IP protection degree	IP30				
Net weight	390g	650g	650g		
Protection functions	attery reverse connection protection, solar panel reverse connection protection, reverse charging protection at night				
	Charging overload protection, overcurrent protection , short circuit protection				
Dimensions	164.0×103.5×47.0(mm)	189.27×127.2×54.0 (mm)	189.27×127.2×54.0 (mm)		


Apéndice H3.Baterías

Figura 33

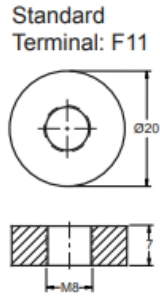
Ficha técnica Ultracell UVZ600 -6

TechData

Image



Terminal Dimensions (mm)



Standard Terminal: F11

Technical Specification

Output	Nominal Voltage	6V
	Nominal Capacity (120HR)	600Ah
Terminal Type	Standard Terminal	F11
Container Material	Standard Option	ABS
	Flame Retardant Option (FR)	ABS (UL94:VO)
Rated Capacity	(120HR 1.80V/cell, 25°C)	600 Ah/5.0A
	(20HR 1.75V/cell, 25°C)	495 Ah/24.75A
	(5HR 1.70V/cell, 25°C)	371 Ah/74.2A
	(1HR 1.60V/cell, 25°C)	224 Ah/224.0A
Max Discharge Current	1450A (5s)	
Internal Resistance	Approx 3.8mΩ	
Discharge Characteristics	Operating Temp Range	Discharge: -15 ~ 50°C Charge: -10 ~ 50°C Storage: -20 ~ 50°C
	Nominal Operating Temp Range	25 ± 3°C
	Cycle Use	Initial Charging Current less than 80A. Voltage 7.05V ~ 7.2V @ 25°C Temp. Coefficient -30mV/°C
	Standby Use	No limit on initial charging current. Voltage 6.75V ~ 6.9V @ 25°C Temp. Coefficient -18mV/°C
	Capacity affected by Temperature	40°C 102% 25°C 100% 0°C 85%
Design Floating Life at 20°C	20 Years	

Self Discharge

Ultracell® UZV batteries may be stored for up to 6 months at 25°C and then a refresh charge is required. For higher temperatures the time intervals will be shorter.

Constant Current Discharge / Constant Power Discharge At 25°C (Amperes & Watts/Cell)






A = Amperes W = Watts

F.V/TIME	15	30	60	2	3	5	8	10	20	24	48	72	100	120
A	min	min	min	hours	hours	hours	hours	hours	hours	hours	hours	hours	hours	hours
1.80V/cell	392	313	204	137	102	73.9	47.1	40.0	24.6	19.1	9.94	6.99	5.11	5.00
	2152	1755	1165	793	597	431	280	231	119	108	61.9	42.1	30.4	29.8
1.75V/cell	414	320	208	140	103	74.2	48.5	40.3	24.75	19.4	10.2	7.04	5.14	5.05
	2272	1822	1202	813	615	444	288	236	122	110	62.3	42.6	31.0	30.1
1.70V/cell	428	332	215	143	105	75.6	48.9	40.6	25.1	19.5	10.4	7.07	5.17	5.09
	2352	1867	1226	826	620	447	290	240	126	113	62.7	43.0	31.6	30.5
1.65V/cell	445	343	221	144	106	76.2	49.2	40.9	25.3	19.7	10.8	7.11	5.19	5.12
	2442	1926	1258	833	624	450	292	245	129	117	62.9	43.4	32.2	31.3
1.60V/cell	456	350	224	145	107	76.8	49.5	41.1	25.5	19.9	11.2	7.15	5.21	5.15
	2502	1965	1277	838	628	453	294	248	132	121	63.1	43.8	32.8	31.8

UZV600-6

6V 600Ah (C120)

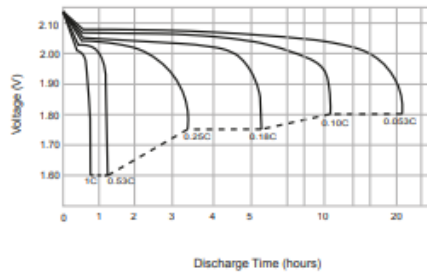
Flat Gel Series

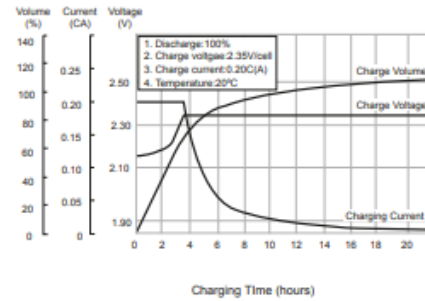
Ultracell
Quality in Every Language

TechData

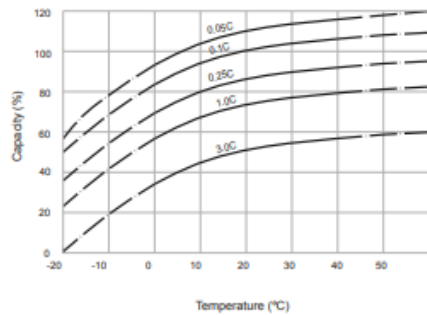
Discharge Characteristics



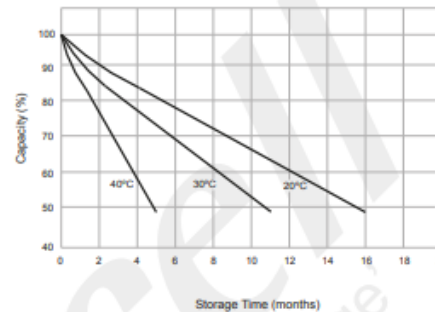
Charging Characteristics



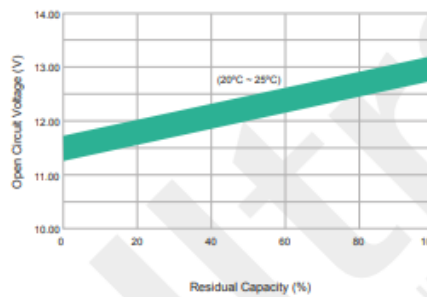
Temperature Effects in Relation to Battery Capacity



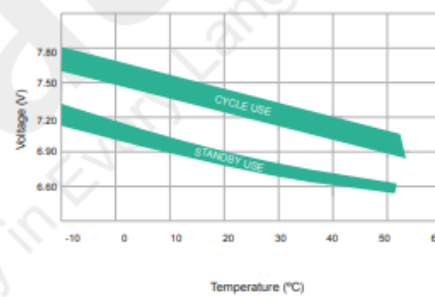
Self-Discharge Characteristics



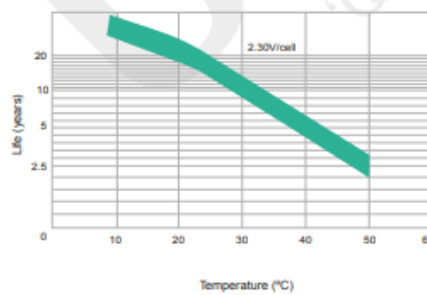
Open Circuit Voltage And Residual Capacity (25°C)



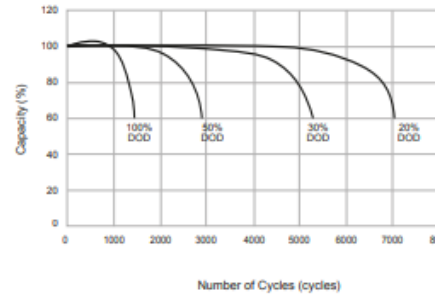
Charging Voltage and Temperature



Floating Life on Temperature



Cycle Life on D.O.D (25°C)



UZV600-6
6V 600Ah (C₁₂₀)
Flat Gel Series



Figura 34*Ficha técnica Next City Litio NCL-LFPO-48100*


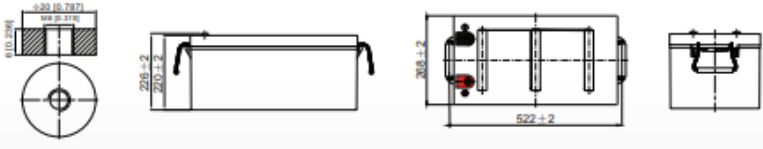
Referencia	NCL-LFPO-4830	NCL-LFPO-4850	NCL-LFPO-48100 
Composición	Li-FePO ₄	Li-FePO ₄	Li-FePO ₄
Voltaje Nominal	51.2V	51.2V	51.2V
Resistencia interna	≤30mΩ	≤30mΩ	≤30mΩ
Capacidad Nominal	30AH	50AH	100AH
Energía Nominal	1440WH	2560WH	5120WH
Voltaje carga		48-54.7V	
Voltaje descarga		48-54.7V	
Corriente Max carga	15A (recomendada) y 25A (máxima)	25A (recomendada) y 50A (máxima)	50A (recomendada) y 100A (máxima)
Corriente Max descarga	15A (recomendada) y 25A (máxima)	25A (recomendada) y 50A (máxima)	50A (recomendada) y 100A (máxima)
Dimensiones		482x400x178mm	
BMS	Integrado	Integrado	Integrado
Temperatura de trabajo		-10°C a 50°C	
Temperatura de almacenamiento		-20 a 45°C	
Humedad		15-85% (sin condensación)	
Vida Útil@80%DOD	>6000 ciclos	>6000 ciclos	>6000 ciclos
Garantía		5 años	

Figura 35

Ficha técnica Ultracell Gel UCG316-12

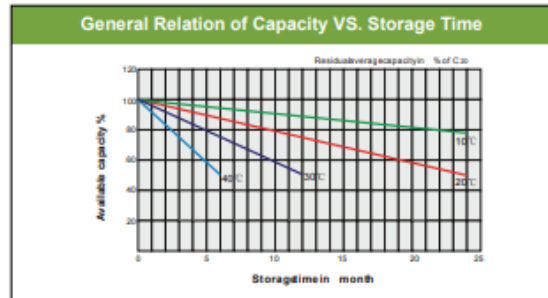
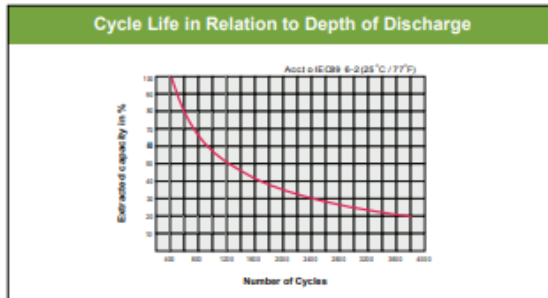
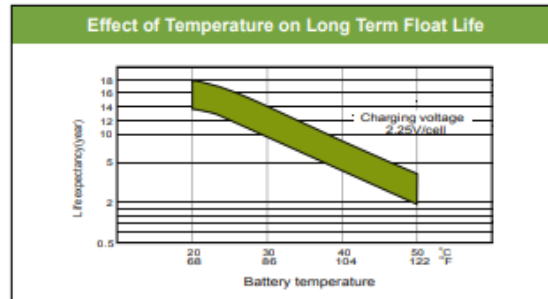
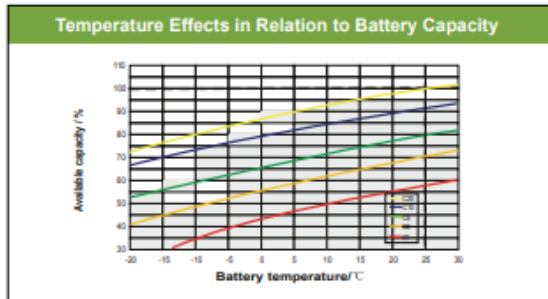
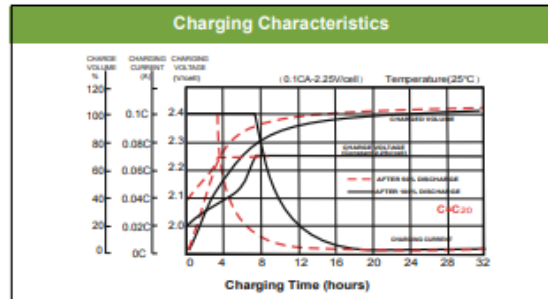
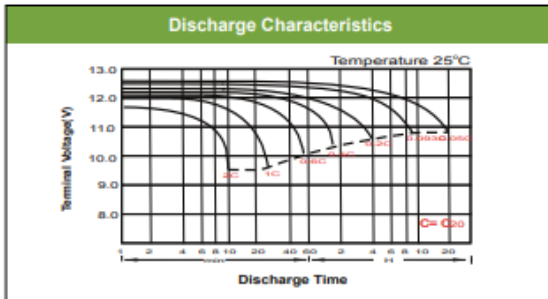
UCG316-12	Physical Specification
	Part Number: UCG316-12
	Length: 522 ± 2 mm
	Width: 268 ± 2 mm
	Container Height: 220 ± 2 mm
	Total Height (with terminal): 226 ± 2 mm
	Approx Weight: Approx 73kg

Specifications		
	Normal Voltage	12V
	Normal Capacity (100HR)	316.0AH
Terminal Type	Standard Terminal	F11
	Optional Terminal	-
Container Material	Standard Option	ABS
	Flame Retardant Option (FR)	ABS(UL94:VO)
Rated Capacity	286.0 AH/25.8A	(10hr, 1.80V/cell, 25°C / 77°F)
	275.0 AH/31.3A	(8hr, 1.80V/cell, 25°C / 77°F)
	218.0 AH/43.6A	(5hr, 1.75V/cell, 25°C / 77°F)
	198.0 AH/66.0A	(3hr, 1.75V/cell, 25°C / 77°F)
	165.5 AH/165.5A	(1hr, 1.60V/cell, 25°C / 77°F)
Max Discharge Current	2500A (5s)	
Internal Resistance	Approx 2.5mΩ	
Discharge Characteristics	Operating Temp. Range	Discharge: -15 ~ 50°C (5 ~ 122°F)
		Charge: 0 ~ 40°C (5 ~ 104°F)
		Storage: -15 ~ 40°C (5 ~ 104°F)
	Nominal Operating Temp. Range	25 ± 3°C (77 ± 5°F)
	Cycle Use	Initial Charging Current less than 75.0A Voltage 14.4V ~ 15.0V at 25°C (77°F) Temp. Coefficient -30mV/°C
	Standby Use	No limit on Initial Charging Current Voltage 13.5V ~ 13.8V at 25°C (77°F) Temp. Coefficient -20mV/°C
Capacity affected by Temperature	40°C (104°F) 103%	
	25°C (77°F) 100%	
	0°C (32°F) 86%	
Design Floating Life at 20°C	15 Years	
Self Discharge	Ultracell batteries may be stored for up to 6 months at 25°C(77°F) and then a refresh charge is required. For higher temperatures the time interval will be shorter.	

Dimensions
<div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="background-color: #4CAF50; width: 15px; height: 15px; margin-right: 5px;"></div> <div style="margin-right: 10px;">F11 Terminal</div>  </div>

Constant Current Discharge (Amperes) at 25°C (77°F)														
F.V/Time	10 min	15 min	20 min	30 min	45 min	1h	2h	3h	4h	5h	6h	8h	10h	20h
1.85V/cell	363.0	335.0	288.0	222.5	168.3	137.0	83.4	60.8	48.1	40.2	35.7	29.9	25.0	12.9
1.80V/cell	409.5	374.0	317.3	237.5	180.7	147.8	88.9	64.6	50.7	42.5	37.7	31.3	25.8	13.4
1.75V/cell	444.0	392.7	330.8	246.5	186.7	153.5	91.1	66.0	52.3	43.6	38.4	31.6	26.1	13.5
1.70V/cell	469.5	419.2	348.0	253.0	192.3	158.0	92.8	67.6	53.4	44.4	39.1	31.8	26.5	13.6
1.67V/cell	\	442.1	360.8	262.5	197.0	162.0	94.6	68.4	54.3	45.2	39.7	32.2	26.7	13.7
1.60V/cell	\	461.0	371.3	267.5	200.3	165.5	96.3	69.8	55.4	45.8	40.1	32.5	26.9	13.8

Constant Power Discharge (Watts) at 25°C (77°F)														
F.V/Time	10 min	15 min	20 min	30 min	45 min	1h	2h	3h	4h	5h	6h	8h	10h	20h
1.85V/cell	670.5	625.1	542.9	424.1	325.2	267.5	165.9	121.5	96.4	80.9	72.0	60.4	50.7	26.2
1.80V/cell	747.5	688.5	589.2	445.7	346.5	287.2	176.3	128.6	101.3	85.2	75.6	63.0	52.0	27.0
1.75V/cell	797.5	714.0	608.4	458.8	356.7	297.6	180.2	130.9	104.0	87.0	76.9	63.5	52.4	27.1
1.70V/cell	824.2	751.7	635.3	468.3	367.0	305.4	182.9	133.7	105.9	88.4	78.0	63.7	53.0	27.3
1.67V/cell	\	783.3	653.7	481.9	372.7	311.9	185.9	135.1	107.6	89.7	79.0	64.3	53.4	27.5
1.60V/cell	\	806.7	665.4	487.7	374.6	316.1	188.4	137.3	109.3	90.6	79.7	64.7	53.7	27.6



Apéndice H4.Inversores**Figura 36****Ficha técnica Eperver Onda Pura IP3000-11-Plus(T)**

Item	IP3000-11-Plus(T)	IP3000-12-Plus(T)	IP3000-42-Plus(T)	IP4000-41-Plus(T)	IP4000-42-Plus(T)	IP5000-42-Plus(T)
Output continuous power	3000W@35°C@ Rated input voltage			4000W@35°C@ Rated input voltage		5000W@35°C@ Rated input voltage
Surge power	4800W@1S	6000W@5S	6000W@5S	8000W@5S		
Output voltage	110VAC(±3%); 120VAC(-7%~+3%)	220VAC(±3%); 230VAC(-7%~+3%)		110VAC(±3%); 120VAC(-7%~+3%)	220VAC(±3%); 230VAC(-7%~+3%)	
Output frequency	50/60Hz±0.2%					
Output wave	Pure Sine Wave					
Output distortion THD	THD≤4%(Resistive load)	THD≤3%(Resistive load)		THD≤4%(Resistive load)	THD≤3%(Resistive load)	
Load power factor	0.2~1(VA≤output continuous power)					
Rated input voltage	12VDC			48VDC		
Input voltage range	10.8~16VDC			43.2~64VDC		
Max. efficiency	> 93% (30% loads)	> 94%(30% load)	> 94.5%(30% load)	> 93% (30% loads)	> 94%(30% load)	
Self-consumption	< 0.2A					
No-load current	< 1.6A@12V		< 0.5A@48V	< 0.6A@48V		< 0.8A@48V
RS485 com. port	5VDC/200mA					
Overall dimension (L*W*H)	550×274×148mm	557×231.5×123mm	491×231.5×123mm	521×274×148mm	516×231.5×123mm	531×231.5×123mm
Weight	13kg	10.5kg	7kg	12kg	8kg	9kg
Working Temperature	-20°C~+60°C(Refer to the Reduced capacity curve)					
Humidity	<95%(N.C.)					
Enclosure	IP20					

Figura 37**Ficha técnica Paco Onda Modificada 3000 W 24 V****ESPECIFICACIONES TÉCNICAS:**

- Potencia de Salida: 3000 W
- Potencia de Salida Pico: 6000 W
- Entrada de Voltaje DC: 24V (30V - 20)
- Tensión nominal de salida de CA: 110V AC - 220V AC
- Frecuencia: 50 / 60 Hz
- Forma de onda de salida: Onda Sinusoidal Modificada
- Alarma de batería baja: 21,0 +/- 0,5 V
- Eficiencia: 85 - 90%
- Sobrecarga: Alarma y Fuera
- La inversión de la polaridad de la batería: Fusible
- Cambio de Fusible: 18 x 10 A
- Dimensiones: 32 x 21 x 15,5 cm
- Peso: 7.3 Kg

Figura 38*Ficha técnica de Voltronic Axpert MAX-6500-48-120***Axpert MAX Off-Grid Inverter Specification**

MODEL	Axpert MAX-6500-48-120
Rated Power	6500VA/6500W
PARALLEL CAPABILITY	Yes, 6 units
INPUT	
Voltage	120 VAC
Selectable Voltage Range	90-140 VAC (For Computers) 80-140 VAC (For Home Appliances)
Frequency Range	50 Hz/60 Hz (Auto sensing)
OUTPUT	
AC Voltage Regulation (Batt. Mode)	120VAC \pm 5%
Surge Power	15000VA
Efficiency (Peak)	90% ~ 93%
Transfer Time	15 ms (For Personal Computers) ; 20 ms (For Home Appliances)
Waveform	Pure sine wave
No Load Power Consumption	<70W
Optional DC Voltage	12 VDC \pm 5%, 100W
BATTERY	
Battery Voltage	48 VDC
Floating Charge Voltage	54 VDC
Overcharge Protection	66 VDC
SOLAR CHARGER & AC CHARGER	
Solar Charger Type	MPPT
Maximum PV Array Power	8000W (4000W x 2)
MPPT Range @ Operating Voltage	90 ~ 230 VDC
Maximum PV Array Open Circuit Voltage	250 VDC
Maximum Solar Charge Current	120 A
Maximum AC Charge Current	120 A
Maximum Charge Current	120 A
PHYSICAL	
Dimension, D x W x H (mm)	147.4 x 432.5 x 553.6
Net Weight (kgs)	18.4
Communication Interface	USB/RS232/RS485/WIFI/Dry-contact
OPERATING ENVIRONMENT	
Humidity	5% to 95% Relative Humidity(Non-condensing)
Operating Temperature	-10°C to 50°C
Storage Temperature	-15°C to 60°C
STANDARD	
Compliance Safety	UL

Product specifications are subject to change without further notice.

*Apéndice H5.Grupo electrógeno***Figura 39***Grupo electrógeno Bauker GG6300E*

Autonomía	8.5 hrs
Tipo de trabajo	Profesional
Medidas	64X66X75cm
Tanque	25 Litros
Recomendaciones	Utilice siempre los elementos de protección personal (EPP) adecuados.
Ruedas	No
Familia	Herramientas y Maquinarias
Garantía	12 meses
Potencia del motor	6.000 W
Nivel de ruido	103 dB
Velocidad	3000 RPM
Potencia	6.0 Kw
Color	Verde/Negro
Peso	85 kg
Tipo	Generadores Eléctricos
Cantidad de salidas	2
Características	PLANTA ELECTRICA A GASOLINA BAUKER: Potencia Eléctrica: 6Kw. Voltaje:110v. Capacidad de Tanque: 25 Litros
Alimentación	Gasolina
Arranque	Eléctrico y Manual
Voltaje	110 V
Incluye	Incluye cable de carga con clips y llave de bujías