



Facultad de Ciencia y Tecnología

Tecnología Superior en Electricidad

Diseño e Implementación de un Sistema Híbrido Off-Grid Fotovoltaico
Residencial en la ciudad de Cuenca, ubicado en la Av. Loja y Don Bosco

Trabajo previo a la obtención del título de Tecnólogo/a Superior en
Electricidad

Jorge Fernando González Alvear

Claudio Marcelo Ramon Ortega

Director: Ing. Diego Mogrovejo Narváez

Cuenca - Ecuador

2026

Dedicatoria

A mi familia por todo su amor y apoyo incondicional, por ser el motor que impulsa cada uno de mis sueños. A mi madre gracias por enseñarme a no rendirme, a ser perseverante, a sus consejos y por ser la mejor madre del mundo.

De manera muy especial, dedico este logro a mi amada esposa, mi compañera de vida, por su apoyo, amor y paciencia durante este camino. Por ser mi inspiración y estar a mi lado en los momentos en que más la necesito, y por caminar de mi mano en cada paso de la vida. Les entrego este logro como muestra de inmensa gratitud y de profundo cariño que siento por su apoyo y confianza.

Jorge F. González.

Dedico este proyecto a mis instructores que fueron un apoyo incondicional y me otorgaron la confianza en cada etapa de mi formación.

Claudio M. Ramon

Agradecimientos

Expreso un sincero agradecimiento a los docentes en especial a mi tutor de tesis por compartir sus conocimientos, experiencia y orientar mis conocimientos. A la Universidad por permitirme formarme como un profesional íntegro y estar a la altura del mundo. Finalmente, a todas y cada una de las personas que contribuyeron para culminar con éxito este logro.

Jorge F. González

Expreso mi sincero agradecimiento a mis instructores, por su orientación, apoyo y acompañamiento durante el desarrollo de este proyecto. Sus conocimientos y recomendaciones fueron fundamentales para la culminación de este. De manera especial, le agradezco a mi familia, por su apoyo constante, comprensión y motivación en cada etapa de mi formación.

Claudio M. Ramon

Resumen

El incremento del consumo energético en los últimos años en el sector residencial ha impulsado la necesidad de implementar soluciones basadas en energías renovables y sostenibles. El presente trabajo constituye una memoria técnica sobre Diseño e Implementación: Sistema Híbrido Off-Grid Fotovoltaico Residencial en la ciudad de Cuenca, ubicado en Av. Loja y Don Bosco abasteciendo el consumo energético de una vivienda aprovechando la energía solar, dando autonomía energética al hogar y continuidad del suministro eléctrico. Esto se logró analizando el consumo eléctrico de la vivienda mediante la identificación de cargas y la diaria demanda energética, el dimensionamiento del sistema fotovoltaico como paneles solares, inversor y banco de baterías; estudiar y proponer la instalación eléctrica y los sistemas de protección del sistema fotovoltaico. Demostrando que el sistema fotovoltaico híbrido solventa el consumo energético de una vivienda reduciendo la dependencia de esta hacia una red eléctrica convencional, optimizando el uso de energía renovable disminuyendo el costo de la planilla eléctrica.

Palabras clave: Energía Renovable, Energía Solar, Sistema Fotovoltaico, Independencia Energética, Almacenamiento de Energía, Paneles Solares, Sistema Híbrido Off-Grid.

Abstract

The increase in energy consumption in recent years within the residential sector has driven the need to implement solutions based on renewable and sustainable energy sources. The present work constitutes a technical report on the Design and Implementation of a Residential Hybrid Off-Grid Photovoltaic System in the city of Cuenca, located at Av. Loja and Don Bosco, supplying the energy demand of a household by harnessing solar energy, providing energy autonomy and continuity of electrical supply.

This was achieved by analyzing the household's electricity consumption through load identification and daily energy demand assessment, as well as by sizing the photovoltaic system components such as solar panels, inverter, and battery bank. Additionally, the electrical installation and protection systems of the photovoltaic system were studied and proposed. The results demonstrate that the hybrid photovoltaic system is capable of meeting the energy demand of a residence, reducing its dependence on the conventional electrical grid, optimizing the use of renewable energy, and decreasing electricity costs.

Keywords: Renewable Energy, Solar Energy, Photovoltaic System, Energy Independence, Energy Storage, Solar Panels, Hybrid Off-Grid System

Índice de Contenido

Dedicatoria	2
Agradecimientos	3
Resumen	4
Abstract	5
Introducción	1
Problemática	2
Justificación	2
Marco teórico	3
Sistemas fotovoltaicos y energía solar.....	3
Tipos de sistemas fotovoltaicos.	3
Irradiación solar y Horas Sol Pico (HSP).....	4
Consumo eléctrico en viviendas	5
Paneles Solares.	6
Tipos de paneles fotovoltaicos.....	7
Baterías en sistemas fotovoltaicos	7
Tipos de baterías utilizadas en sistemas fotovoltaicos.....	8
Inversor	9
Tipos de inversores fotovoltaicos	9
Conductores y protecciones en sistemas fotovoltaicos.....	10
Conductores y protecciones en corriente continua (DC).....	10
Conductores y protecciones en corriente alterna (AC).....	11
Dimensionamiento e instalación de sistemas fotovoltaicos.....	11
Pasos para la instalación del sistema fotovoltaico	12
Objetivos	13
General.....	13
Específicos	13
Materiales y Métodos	13
Materiales 1. Generación fotovoltaica.....	14
2. Almacenamiento de energía	14
3. Conversión y control de energía	14
4. Protecciones eléctricas en corriente continua (DC).....	14

5. Protecciones eléctricas en corriente alterna (AC).....	14
6. Conductores eléctricos.....	14
7. Sistema de puesta a tierra (SPT).....	15
8. Elementos de montaje e instalación.....	15
Metodología	15
1. Determinación del consumo energético de la vivienda	15
2. Análisis del recurso solar del sitio	15
3. Dimensionamiento del generador fotovoltaico.....	16
4. Dimensionamiento del banco de baterías	16
5. Selección del inversor híbrido	16
6. Dimensionamiento de conductores eléctricos	16
7. Selección de protecciones eléctricas.....	16
8. Diseño del sistema de puesta a tierra.....	16
9. Definición de criterios de instalación del sistema	16
Procedimiento	17
Descripción del proyecto.	18
Horas solar pico (HSP).	18
Capacidad nominal del sistema y consumo.	20
Módulos fotovoltaicos.	29
Inversor.	32
Distribución de módulos por inversor.....	34
Baterías	35
Conductores	38
Protecciones.....	41
SISTEMA PUESTA A TIERRA	44
Resultados	45
Conclusiones	46
Referencias	47
Anexos	48
Anexo A Inversor	48
B Bateria	49
C Colocación de Paneles	50
D Diagrama Unifilar Sistema Fotovoltaico	51

Índice de Tablas

Tabla 1 Datos del cliente para instalación de SGDA.....	17
Tabla 2 HSP Y TEMPERATURA DEL SITIO	19
Tabla 3 Consumos facturados de los últimos doce meses	24
Tabla 4 Consumos eléctricos del domicilio	26
Tabla 5 Modelo y características del auto eléctrico a adquirir por el cliente.....	28
Tabla 6 Sección calculada y sección comercial seleccionada para los conductores.....	41

Índice de Ilustraciones

Ilustración 1 Configuraciones de sistemas fotovoltaicos:	4
Ilustración 2 Interpretación gráfica de las Horas Sol Pico (HSP) a partir de la irradiancia solar diaria equivalente a 1000 W/m ²	5
Ilustración 3 Consumos energéticos	6
Ilustración 4 Tecnologías de paneles fotovoltaicos: monocristalino (izq.), policristalino (centro) y capa fina (der.)	7
Ilustración 5 Comparación de tecnologías de almacenamiento:.....	8
Ilustración 6 Diferentes tecnologías y marcas de inversores fotovoltaicos	10
Ilustración 7 Esquema integral de conductores y protecciones	11
Ilustración 8 vivienda	17
Ilustración 9 Esquema integral de conductores y protecciones	20
Ilustración 10 Selección de tipo de consulta.....	21
Ilustración 11 Consulta de facturas mediante cuenta contrato.	21
Ilustración 12 Consulta de facturas.....	22
Ilustración 13 Facturas disponibles	22
Ilustración 14 Factura eléctrica CENTROSUR.....	23
Ilustración 15 Selección del año de facturación	23
Ilustración 16 Calculo de la capacidad nominal	25
Ilustración 17 16 Ejemplo de obtención del valor máximo de consumo.....	26
Ilustración 18 Tabla de factura eléctrica	27

Ilustración 19 Módulo fotovoltaico monocristalino modelo 630 W de la serie DMD-M615-640.	30
Ilustración 20 Inversor Growatt.....	33
Ilustración 21 Inversor híbrido Growatt serie SPF DVM-MPV con controlador MPPT integrado.	34
Ilustración 22 Batería modular de litio ferrofosfato Growatt AXE 5.0L para almacenamiento de energía en sistemas fotovoltaicos.	35
Ilustración 23 Instalación de baterías	38
Ilustración 24 Conductores	39
Ilustración 25 Caja combinadora fotovoltaica (PV Combiner Box) para conexión de strings en corriente continua con protecciones eléctricas integradas.	42
Ilustración 26 Interruptor termomagnético bipolar 50 A curva C utilizado para protección de circuitos en corriente alterna.....	43
Ilustración 27 Relé de protección utilizado para supervisión y	43
Ilustración 28 Instalación de varilla de cobre bajo tierra.....	44
Ilustración 29 Configuración de sistema de puesta a tierra (SPT) mediante varilla vertical y cálculo de resistencia eléctrica del electrodo.....	44

Introducción

En el contexto energético actual, el incremento del consumo eléctrico en el sector residencial ha impulsado la búsqueda de soluciones basadas en el aprovechamiento de fuentes de energía renovable disponibles a nivel local. La incorporación de sistemas fotovoltaicos con almacenamiento energético permite generar electricidad a partir de la radiación solar, constituyéndose en una alternativa para abastecer el consumo eléctrico de una vivienda mediante autoconsumo energético.

En el Ecuador, el Sistema Nacional Interconectado (SNI) se caracteriza por una alta participación de generación hidroeléctrica, lo que evidencia la necesidad de complementar el abastecimiento energético mediante soluciones que permitan disponer de energía a nivel del usuario final. En la ciudad de Cuenca, el recurso solar presenta valores promedio de Horas Sol Pico (HSP) entre 4.5 y 5.2 kWh/m²/día, lo que demuestra condiciones favorables para la implementación de sistemas fotovoltaicos en aplicaciones residenciales.

Bajo este contexto, la presente investigación desarrolla el diseño e implementación de un sistema fotovoltaico híbrido off-grid para una vivienda ubicada en la Av. Loja y Don Bosco, en la ciudad de Cuenca, con el propósito de abastecer su demanda energética mediante el aprovechamiento de energía solar y almacenamiento en baterías. El sistema propuesto permite disponer de energía generada localmente, proporcionando autoconsumo, autonomía energética y respaldo ante la ausencia de suministro desde la red eléctrica, en concordancia con los lineamientos de la Regulación ARCERNNR 002/20 para sistemas de generación distribuida en el sector residencial.

Problemática

El sector eléctrico ecuatoriano enfrenta actualmente una problemática asociada a la baja fiabilidad del suministro energético, derivada de su alta dependencia de la generación hidroeléctrica centralizada. Esta condición provoca vulnerabilidad del Sistema Nacional Interconectado (SNI) frente a periodos de estiaje, generando interrupciones en el servicio eléctrico que afectan directamente a los usuarios finales.

En este contexto, los sistemas convencionales de suministro eléctrico presentan limitaciones tanto en términos de continuidad como de eficiencia, ya que los usuarios dependen exclusivamente de una red que no garantiza estabilidad operativa ni control sobre el costo de la energía consumida. Adicionalmente, la infraestructura actual no está completamente adaptada para integrar soluciones de generación distribuida de forma eficiente, lo que restringe la adopción de alternativas energéticas más fiables.

Justificación

La presente investigación se justifica en la necesidad de mejorar la fiabilidad del suministro eléctrico a nivel de una vivienda, reduciendo su dependencia del Sistema Nacional Interconectado (SNI) frente a escenarios de inestabilidad energética. La implementación de un sistema híbrido off-grid basado en energía fotovoltaica y almacenamiento permite garantizar continuidad en el servicio, proporcionando una solución autónoma y técnica para el usuario, en concordancia con la Regulación Nro. ARCERNNR 002/20 (Codificada), que fomenta la incorporación de sistemas de generación distribuida.

Además, desde el punto de vista económico, este sistema permite disminuir el consumo de energía proveniente de la red, optimizando el gasto energético del usuario mediante el aprovechamiento del recurso solar disponible. De esta manera, se plantea una solución que mejora la seguridad del suministro eléctrico en la vivienda y genera ahorro a mediano y largo plazo.

Marco teórico

Sistemas fotovoltaicos y energía solar

La energía solar fotovoltaica es una forma de generación eléctrica que permite transformar directamente la radiación solar en energía eléctrica mediante el efecto fotovoltaico. Este proceso se produce en materiales semiconductores que, al ser expuestos a la luz solar, generan una diferencia de potencial eléctrico aprovechable. La energía solar constituye una fuente renovable, limpia e inagotable, lo que la convierte en una alternativa viable frente a sistemas convencionales basados en combustibles fósiles.

El conjunto de dispositivos que permiten esta conversión se denomina sistema fotovoltaico, el cual está conformado principalmente por módulos solares, sistemas de almacenamiento, reguladores de carga e inversores, que en conjunto permiten generar, gestionar y utilizar la energía eléctrica de forma eficiente.

Tipos de sistemas fotovoltaicos.

Los sistemas fotovoltaicos pueden clasificarse de acuerdo con su forma de funcionamiento y su relación con la red eléctrica, distinguiéndose principalmente los sistemas autónomos, los conectados a la red y los híbridos.

Sistemas fotovoltaicos autónomos u off-grid: operan de manera independiente de la red eléctrica convencional. La energía generada por los paneles solares se almacena en baterías para su uso posterior, lo que permite suministrar electricidad incluso en periodos sin radiación solar. Este tipo de sistema se emplea principalmente en viviendas o instalaciones aisladas donde no existe acceso al servicio eléctrico o donde se busca independencia energética.

Sistemas fotovoltaicos conectados a la red u on-grid trabajan de forma vinculada al sistema eléctrico convencional. En este caso, la energía generada por los módulos solares puede abastecer directamente las cargas del usuario y, cuando existe excedente, puede inyectarse a la red según la regulación aplicable. Su principal ventaja es la reducción del consumo de energía demandada a la empresa distribuidora, aunque su operación depende de la disponibilidad de la red.

Sistemas fotovoltaicos híbridos combinan características de los sistemas autónomos y de los conectados a la red. Estos incorporan generación fotovoltaica, banco de baterías y, en determinados casos, respaldo desde la red o desde otra fuente auxiliar. Su principal ventaja

radica en que permiten mantener continuidad de suministro, optimizar el uso de la energía generada y reducir la dependencia de la red eléctrica convencional, siendo una alternativa adecuada para aplicaciones residenciales donde se busca generación, almacenamiento y ahorro energético (Castejón Oliva & Santamaría Herranz, 2010).

- **Sistema híbrido on-grid:** Sistema conectado a la red con almacenamiento en baterías.
- **Sistema híbrido off-grid:** Sistema independiente de la red con almacenamiento en baterías.

Ilustración 1 Configuraciones de sistemas fotovoltaicos:



Fuente: Elaboración propia.

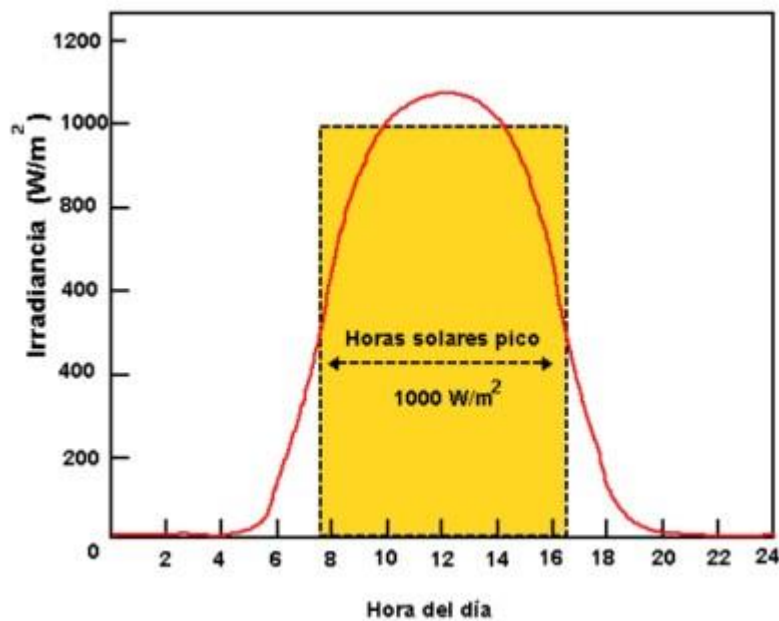
Irradiación solar y Horas Sol Pico (HSP)

La irradiación solar es la cantidad de energía proveniente del sol que incide sobre una superficie en un periodo determinado, generalmente expresada en kWh/m². Este parámetro es fundamental para el diseño de sistemas fotovoltaicos, ya que permite estimar la energía disponible en un sitio específico.

Las Horas Sol Pico (HSP) corresponden al número de horas equivalentes en las que la irradiación solar alcanza un valor estándar de 1000 W/m². Este concepto permite simplificar el análisis del recurso solar, ya que relaciona la energía recibida durante el día con un valor de irradiancia constante equivalente. En términos energéticos, una Hora Sol Pico equivale a una irradiación de 1 kWh/m², lo que representa la energía entregada por un sol hipotético de irradiancia constante de 1000 W/m² durante una hora (Pérez Martínez et al., 2017).

Las pruebas eléctricas de los módulos fotovoltaicos se realizan bajo Condiciones Estándar de Prueba (STC), las cuales consideran una irradiancia de 1000 W/m^2 , una temperatura de celda de $25 \text{ }^\circ\text{C}$ y una masa de aire AM 1.5. Estas condiciones permiten determinar los parámetros eléctricos nominales del panel fotovoltaico, como la potencia máxima (W_p), el voltaje y la corriente en el punto de máxima potencia, facilitando la comparación técnica entre diferentes módulos y el cálculo de la energía que puede generar el sistema en función de las HSP disponibles en el sitio de instalación.

Ilustración 2 Interpretación gráfica de las Horas Sol Pico (HSP) a partir de la irradiancia solar diaria equivalente a 1000 W/m^2



Fuente: Adaptado de La hora solar pico equivalente, definición e interpretación, por M. Pérez Martínez, I. C. Morales Rodríguez y E. Castro, 2017, Revista de Ingeniería Energética, 38(2), 124–131.

Consumo eléctrico en viviendas

El consumo eléctrico en viviendas corresponde a la cantidad de energía demandada por los diferentes equipos y dispositivos eléctricos utilizados en el hogar, tales como iluminación, electrodomésticos y equipos electrónicos. El análisis del consumo energético permite determinar la demanda diaria de energía, la cual constituye un parámetro fundamental para el dimensionamiento de sistemas fotovoltaicos residenciales.

En los sistemas que aprovechan la energía solar, el consumo energético promedio diario permite establecer la cantidad de energía que debe ser generada por el sistema fotovoltaico durante las Horas Sol Pico (HSP). Este criterio permite relacionar la demanda energética de la vivienda con la capacidad de generación del campo fotovoltaico, facilitando el dimensionamiento adecuado del sistema en función de la energía requerida por las cargas eléctricas (López & Arias, 2020).

Ilustración 3 Consumos energéticos



Fuente: Adaptado de Calculadora de consumo para instalaciones fotovoltaicas, por SFE Solar, s.f., (<https://bit.ly/SFE-Solar-Calculo>).

Paneles Solares.

Los paneles solares fotovoltaicos son dispositivos encargados de transformar la energía proveniente de la radiación solar en energía eléctrica mediante el efecto fotovoltaico. Están compuestos por celdas fotovoltaicas fabricadas generalmente de materiales semiconductores como el silicio, que al recibir la radiación solar generan una corriente eléctrica en forma de corriente continua (DC).

Los módulos fotovoltaicos constituyen el elemento principal del sistema de generación de energía, ya que determinan la capacidad de producción eléctrica en función de su potencia nominal. Su desempeño depende de factores como la irradiación solar, la orientación, la inclinación del panel y la temperatura de operación. Los parámetros eléctricos más importantes que caracterizan a un panel fotovoltaico son la potencia máxima (Wp), el voltaje

de circuito abierto (V_{oc}), la corriente de cortocircuito (I_{sc}), el voltaje en el punto de máxima potencia (V_{mpp}) y la corriente en el punto de máxima potencia (I_{mpp}), los cuales se determinan bajo Condiciones Estándar de Prueba (STC).

Tipos de paneles fotovoltaicos

Existen diferentes tipos de paneles solares en función de los materiales empleados y los procesos de fabricación utilizados para la obtención de las celdas fotovoltaicas, lo que influye en su eficiencia y características de funcionamiento (Fernández Ferichola, 2009).

- **Panel monocristalino:** Fabricado a partir de un solo cristal de silicio, presenta mayor eficiencia y mejor rendimiento en espacios reducidos.
- **Panel policristalino:** Fabricado con múltiples cristales de silicio, tiene menor eficiencia que el monocristalino, pero suele ser más económico.
- **Panel de película delgada:** Utiliza materiales semiconductores depositados en capas delgadas, presenta menor eficiencia, pero mayor flexibilidad y menor peso.

Ilustración 4 Tecnologías de paneles fotovoltaicos: monocristalino (izq.), policristalino (centro) y capa fina (der.)



(1) Monocristalino (2) Policristalino (3) Película delgada

Fuente: Adaptado de Gemini 3 Flash, por Ilustración técnica de los tres principales tipos de paneles solares fotovoltaicos, 2026, Google (<https://bit.ly/Tipos-Paneles-Solar>).

Ver Anexo C Colocación de Paneles para evidencia fotográfica completa.

Baterías en sistemas fotovoltaicos

Una batería es un conjunto de celdas electroquímicas en las que se encuentran un electrodo positivo, un electrodo negativo y un electrolito, el cual permite el movimiento de iones entre ambos electrodos, actuando como conductor iónico y aislante eléctrico. Mediante este

proceso se almacena energía eléctrica en forma de energía química, la cual puede ser liberada nuevamente cuando el sistema lo requiere (Sales & Pardillos).

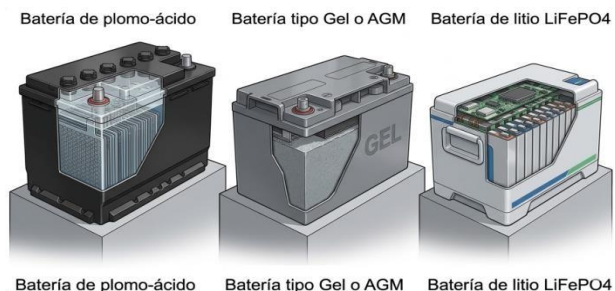
En los sistemas fotovoltaicos, las baterías permiten almacenar la energía eléctrica generada por los paneles solares durante el día para su utilización en periodos sin radiación solar, como en horas nocturnas o en condiciones de baja irradiación. El almacenamiento de energía constituye un elemento fundamental en los sistemas híbridos off-grid, ya que permite abastecer el consumo eléctrico de la vivienda y proporcionar energía cuando no existe generación solar disponible.

La capacidad de una batería se expresa generalmente en amperios-hora (Ah) o kilovatiohora (kWh), parámetros que permiten determinar la cantidad de energía que puede almacenar y suministrar al sistema. Entre los aspectos técnicos más importantes se encuentran la profundidad de descarga (DoD), la eficiencia de almacenamiento y la vida útil, los cuales influyen en el desempeño del sistema fotovoltaico.

Tipos de baterías utilizadas en sistemas fotovoltaicos

- **Baterías de plomo-ácido:** tecnología convencional caracterizada por su menor costo inicial, aunque presentan menor vida útil y menor profundidad de descarga en comparación con otras tecnologías.
- **Baterías tipo Gel o AGM:** baterías selladas que requieren menor mantenimiento, presentan mayor seguridad operativa y mejor comportamiento frente a descargas profundas.
- **Baterías de litio (LiFePO₄):** presentan mayor vida útil, mayor profundidad de descarga y mayor estabilidad en el suministro de energía, siendo ampliamente utilizadas en sistemas fotovoltaicos residenciales.

Ilustración 5 Comparación de tecnologías de almacenamiento:



Fuente: Adaptado de Gemini 3 Flash, por Ilustración comparativa de tecnologías de baterías solares, 2026, Google (<https://bit.ly/Tipos-Baterias-Solar>).

Inversor

El inversor es el equipo encargado de convertir la corriente continua (DC) generada por los paneles solares y almacenada en las baterías en corriente alterna (AC), la cual es utilizada por los equipos eléctricos de la vivienda. El inversor permite el flujo de corriente desde una red de continua hacia una red de alterna, posibilitando que la energía generada por el sistema fotovoltaico pueda ser utilizada por cargas que operan en corriente alterna (Guasch Murillo, 2003).

Una instalación fotovoltaica que incorpore un inversor puede pertenecer a diferentes escenarios en función de las características de la red alterna disponible. En sistemas aislados, el inversor suministra energía directamente a las cargas eléctricas a partir de la energía generada y almacenada en baterías. En otros casos, el inversor puede trabajar en conjunto con una red eléctrica existente, permitiendo el aprovechamiento de la energía solar en la instalación.

En los sistemas fotovoltaicos híbridos off-grid, el inversor cumple una función fundamental, ya que gestiona la energía proveniente de los paneles solares y del banco de baterías, permitiendo el suministro eléctrico a las cargas de la vivienda. Además, los inversores híbridos modernos incorporan internamente un controlador de carga MPPT (Maximum Power Point Tracking), el cual permite maximizar el aprovechamiento de la energía generada por los paneles solares al operar en el punto de máxima potencia del módulo fotovoltaico. Entre los principales parámetros técnicos del inversor se encuentran la potencia nominal, el voltaje de entrada en corriente continua, el voltaje de salida en corriente alterna, la frecuencia de operación y la eficiencia de conversión. La selección del inversor depende de la potencia requerida por las cargas eléctricas de la vivienda y de la configuración del sistema fotovoltaico.

Tipos de inversores fotovoltaicos

Inversor Off-Grid: utilizado en sistemas aislados de la red eléctrica, suministra energía a las cargas a partir de paneles solares y baterías.

Inversor On-Grid: funciona conectado a la red eléctrica, permitiendo el uso de la energía generada por los paneles en la instalación.

Inversor Híbrido: permite la gestión conjunta de paneles solares, baterías y cargas eléctricas dentro de un mismo sistema.

Ilustración 6 Diferentes tecnologías y marcas de inversores fotovoltaicos



Fuente: Adaptado de Tipos de Inversores, por Gercolanz, s.f., (<https://bit.ly/Gercolanz-Inversores>).

Conductores y protecciones en sistemas fotovoltaicos

En los sistemas fotovoltaicos, los conductores eléctricos permiten el transporte de la energía generada desde los paneles solares hacia los diferentes componentes del sistema, como inversor, baterías y cargas eléctricas. Cuando la corriente eléctrica circula por un conductor, una parte de la energía se transforma en calor, lo que representa pérdidas energéticas. Por esta razón, es necesario seleccionar conductores adecuados que permitan reducir las pérdidas y asegurar el correcto funcionamiento del sistema (Style, 2012).

Los elementos de protección tienen la función de proteger tanto a las personas como a los equipos del sistema fotovoltaico en caso de fallas eléctricas, sobrecorrientes o cortocircuitos. Una adecuada selección de protecciones permite prevenir daños en los componentes y asegurar la operación segura de la instalación (Style, 2012).

Conductores y protecciones en corriente continua (DC)

En la parte de corriente continua, la energía fluye desde los paneles solares hacia el inversor y el sistema de almacenamiento. En este tramo se emplean conductores solares diseñados para soportar condiciones ambientales y niveles de tensión en DC. Entre los principales elementos de protección en corriente continua se encuentran fusibles DC, interruptores termomagnéticos DC, seccionadores y dispositivos de protección contra sobretensiones (SPD DC), los cuales permiten proteger los equipos ante fallas eléctricas.

Conductores y protecciones en corriente alterna (AC)

En la parte de corriente alterna, la energía es suministrada desde el inversor hacia las cargas eléctricas de la vivienda. En este caso se utilizan conductores adecuados para instalaciones eléctricas en AC. Entre los principales elementos de protección se encuentran interruptores termomagnéticos, interruptores diferenciales, protecciones contra sobretensiones (SPD AC) y sistemas de puesta a tierra, los cuales permiten proteger a los usuarios y equipos ante posibles fallas eléctricas.

Ilustración 7 Esquema integral de conductores y protecciones



Fuente: Gemini 3 Flash. (2026). Esquema integral de conductores y protecciones en sistemas fotovoltaicos [Imagen generada por IA]. Google. <https://bit.ly/Esquema-Protecciones-PV>

Dimensionamiento e instalación de sistemas fotovoltaicos

El dimensionamiento de un sistema fotovoltaico consiste en determinar la capacidad de los componentes principales, como paneles solares, inversor y banco de baterías, en función del consumo energético de la vivienda y de la disponibilidad del recurso solar en el sitio de estudio. Este proceso permite establecer la energía que debe generar el sistema fotovoltaico para cubrir la demanda eléctrica, considerando parámetros como la irradiación solar, las Horas Sol Pico (HSP) y las características técnicas de los equipos.

Para el desarrollo del dimensionamiento del sistema fotovoltaico, se toman como referencia metodologías técnicas empleadas en el diseño de sistemas solares autónomos, las cuales establecen procedimientos para el cálculo de la potencia del generador fotovoltaico, la capacidad del banco de baterías y la selección del inversor en función de la demanda

energética requerida. Las ecuaciones utilizadas en el presente estudio se fundamentan en criterios técnicos descritos en la literatura especializada para el análisis y dimensionamiento de sistemas fotovoltaicos (Style, 2012; Castejón Oliva & Santamaría Herranz, 2010).

El proceso de instalación considera criterios técnicos relacionados con la disposición de los componentes del sistema, la conexión eléctrica entre equipos, el uso de conductores adecuados y la incorporación de protecciones eléctricas, con el fin de establecer una configuración coherente del sistema fotovoltaico en función de las condiciones del sitio y los requerimientos energéticos de la vivienda, tomando como base los lineamientos técnicos descritos en las referencias mencionadas (Style, 2012).

Pasos para el dimensionamiento del sistema fotovoltaico

1. Determinación del consumo energético de la vivienda
2. Cálculo de la demanda energética diaria (kWh/día)
3. Obtención del recurso solar (irradiación y HSP)
4. Cálculo de la potencia requerida del generador fotovoltaico
5. Selección de módulos fotovoltaicos
6. Cálculo de la capacidad del banco de baterías
7. Selección del inversor fotovoltaico
8. Dimensionamiento de conductores eléctricos
9. Selección de protecciones eléctricas
10. Verificación de la configuración del sistema

Pasos para la instalación del sistema fotovoltaico

1. Ubicación del área de instalación
2. Orientación e inclinación de los paneles solares
3. Montaje de la estructura de soporte
4. Instalación de los módulos fotovoltaicos
5. Instalación del inversor fotovoltaico
6. Instalación del banco de baterías
7. Conexión eléctrica en corriente continua (DC)
8. Conexión eléctrica en corriente alterna (AC)
9. Instalación de protecciones eléctricas
10. Puesta en funcionamiento del sistema

Objetivos

General

- ✦ Realizar el diseño y la instalación de un sistema solar fotovoltaico híbrido (Off-Grid) para una vivienda en la ciudad de Cuenca, mediante el cálculo preciso de la demanda eléctrica y la selección de componentes tecnológicos (paneles, baterías e inversor), con el fin de asegurar que el hogar cuente con energía propia y constante, logrando que sea independiente de la red eléctrica pública y aprovechando al máximo la radiación solar de la zona.

Específicos

- ✦ Determinar la demanda energética real de la residencia en la ubicación de la Av. Loja y Don Bosco, analizando los picos de consumo estacional para establecer el requerimiento diario crítico.
- ✦ Dimensionar el banco de baterías y el campo fotovoltaico considerando la radiación solar específica de Cuenca, con el fin de asegurar la autonomía del sistema durante los periodos de baja generación.
- ✦ Configurar el inversor/cargador híbrido para gestionar eficientemente la transición entre la energía solar, el almacenamiento en baterías y el respaldo de la red eléctrica convencional.
- ✦ Evaluar la eficiencia operativa del sistema en un entorno urbano, verificando que la implementación cumpla con los estándares técnicos de seguridad eléctrica y las necesidades de carga de la vivienda.
- ✦ Elaborar un informe técnico final que documente el proceso de instalación, las pruebas de funcionamiento y el análisis de la autonomía energética alcanzada bajo el modelo de estudio de caso.

Materiales y Métodos

Materiales 1. Generación fotovoltaica

- Panel fotovoltaico monocristalino **630 W** (modelo referencial DMD-M615-640 o equivalente).
- Estructura de soporte para panel solar (aluminio o acero galvanizado).
- Pernos y anclajes para fijación de estructura.
- Conectores MC4 para interconexión de módulos.

2. Almacenamiento de energía

- Batería de litio **LiFePO4 5 kWh** (modelo AXE 5.0L o equivalente).
- Gabinete o estructura de soporte para banco de baterías.
- Cableado de conexión batería – inversor.

3. Conversión y control de energía

- Inversor híbrido fotovoltaico **off-grid** (modelo DVM o equivalente).
- Regulador de carga integrado **MPPT**.
- Sistema de monitoreo del inversor.

4. Protecciones eléctricas en corriente continua (DC)

- Caja combinadora fotovoltaica (**PV Combiner Box**).
- Fusibles DC para protección de strings.
- Breaker DC.
- Protector de sobretensiones DC (SPD).
- Cable fotovoltaico 4 mm² – 6 mm².
- Conectores MC4.

5. Protecciones eléctricas en corriente alterna (AC)

- Interruptor termomagnético bipolar **50 A curva C**.
- Relé digital de protección de voltaje y corriente tipo riel DIN.
- Breaker AC para protección de salida del inversor.
- Tablero eléctrico de distribución.

6. Conductores eléctricos

- Cable fotovoltaico DC 4 mm² o 6 mm² (panel → inversor).
- Cable 6 mm² o superior (batería → inversor).

- Cable AC 10 AWG – 12 AWG (inversor → tablero).
- Canalización eléctrica (tubería EMT o PVC).
- Terminales, conectores y accesorios de fijación.

7. Sistema de puesta a tierra (SPT)

- Varilla de puesta a tierra cobreada **1,8 m**.
- Conductor de cobre desnudo calibre **#2 AWG**.
- Conector tipo abrazadera para varilla.
- Material de mejoramiento de conductividad del terreno (si aplica).

8. Elementos de montaje e instalación

- Canaletas o tuberías de protección de conductores.
- Caja de conexiones eléctricas.
- Tornillería y elementos de fijación.
- Etiquetas de señalización eléctrica.
- Herramientas de instalación y medición.

Metodología

El presente trabajo se desarrolló mediante una metodología técnica organizada en etapas secuenciales, enfocadas en el diseño de un sistema fotovoltaico híbrido off-grid para el abastecimiento energético de una vivienda. La metodología considera el análisis del consumo energético, la evaluación del recurso solar disponible, el dimensionamiento de los componentes principales del sistema y la definición de criterios técnicos para su instalación.

1. Determinación del consumo energético de la vivienda

Se identificaron los equipos eléctricos presentes en la vivienda y su potencia nominal, con el fin de calcular la demanda energética diaria en Wh/día. Este análisis permitió determinar la energía requerida para el dimensionamiento del sistema fotovoltaico.

2. Análisis del recurso solar del sitio

Se evaluó la irradiación solar disponible en la ciudad de Cuenca mediante valores promedio y el cálculo de las Horas Sol Pico (HSP), parámetro fundamental para estimar la energía que puede generar el sistema fotovoltaico.

3. Dimensionamiento del generador fotovoltaico

Se determinó la cantidad de paneles solares necesarios para cubrir la demanda energética de la vivienda, considerando la potencia nominal de los módulos fotovoltaicos y el valor de HSP del sitio de estudio.

4. Dimensionamiento del banco de baterías

Se calculó la capacidad de almacenamiento requerida para garantizar el suministro de energía durante periodos sin radiación solar, considerando la demanda energética diaria y la profundidad de descarga de las baterías.

5. Selección del inversor híbrido

Se definió la capacidad del inversor en función de la potencia total de las cargas de la vivienda, considerando que el equipo incorpora controlador de carga MPPT para la gestión de la energía generada por los paneles solares.

6. Dimensionamiento de conductores eléctricos

Se seleccionaron los conductores eléctricos en corriente continua (DC) y corriente alterna (AC), considerando la capacidad de corriente, la caída de tensión permitida y las condiciones de instalación.

7. Selección de protecciones eléctricas

Se definieron los dispositivos de protección necesarios en corriente continua y corriente alterna, tales como fusibles, interruptores automáticos, protecciones contra sobretensiones y dispositivos de control de voltaje y corriente.

8. Diseño del sistema de puesta a tierra

Se establecieron los criterios técnicos del sistema de puesta a tierra (SPT), considerando el uso de varillas de puesta a tierra y conductores de cobre, con el fin de proporcionar protección ante fallas eléctricas.

9. Definición de criterios de instalación del sistema

Se establecieron criterios técnicos para la disposición de los equipos, conexiones eléctricas y consideraciones generales necesarias para la correcta implementación del sistema fotovoltaico.

La metodología aplicada se fundamenta en criterios técnicos descritos en la literatura especializada para el diseño y dimensionamiento de sistemas fotovoltaicos, tomando como referencia los procedimientos presentados por Castejón Oliva y Santamaría Herranz (2010)

y Style (2012), de donde se consideran las ecuaciones y criterios utilizados en el proceso de dimensionamiento del sistema fotovoltaico híbrido off-grid.

Procedimiento

Sistema solar fotovoltaico para auto abastecimiento de una vivienda.

Ilustración 8 vivienda



Datos del cliente.

Tabla 1 Datos del cliente para instalación de SGDA

Nombre.	PEDRO JOSE SAMANIEGO A.
Cedula	0100653229
Cuenta contrato (C.C)	200002490577
Medidor asociado a la C.C	5252012475
Latitud; Longitud	-2.913046, -79.030140
Dirección domiciliaria	LOJA DON BOSCO 1 / YANUNCAY - CUENCA

Descripción del proyecto.

El proyecto corresponde a la implementación de un Sistema de Generación Distribuida para Autoconsumo (SGDA) híbrido OFF-GRID con almacenamiento energético, destinado a cubrir el consumo eléctrico solicitado del usuario Pedro José Samaniego A., ubicado en el sector Loja – Don Bosco 1, parroquia Yanuncay, ciudad de Cuenca (coordenadas: -2.913046, -79.030140). El sistema estará compuesto por un arreglo fotovoltaico, inversor híbrido y banco de baterías, permitiendo generar, gestionar y almacenar energía eléctrica

Horas solar pico (HSP).

Para el presente estudio se empleó la herramienta PVGIS, desarrollada por el European Commission Joint Research Centre, la cual permite obtener datos de irradiación solar y generación fotovoltaica a partir de bases de datos meteorológicas satelitales y modelos climáticos validados. El análisis se realizó utilizando las coordenadas geográficas del sitio de instalación (-2.913046, -79.030140), correspondientes a la ciudad de Cuenca, Ecuador, obteniendo los valores de irradiación global horizontal. A partir de estos resultados se determinó la HSP promedio diaria del sitio, valor que posteriormente se utiliza como parámetro base para el cálculo de la potencia requerida del sistema fotovoltaico y la estimación de la energía generada por el arreglo FV.

Las Horas Sol Pico (HSP) se derivan de la irradiación solar diaria considerando una irradiancia de referencia de 1000 W/m^2 , valor definido internacionalmente bajo Condiciones Estándar de Prueba (STC) para la caracterización de módulos fotovoltaicos. En este contexto, una HSP representa la cantidad de energía solar equivalente a recibir 1000 W/m^2 durante una hora, permitiendo expresar la irradiación diaria ($\text{kWh/m}^2/\text{día}$) como horas equivalentes de radiación solar máxima. Los valores de irradiación obtenidos del software de simulación se presentan como energía solar mensual acumulada ($\text{kWh/m}^2/\text{mes}$). Para determinar la irradiación promedio diaria, dichos valores se normalizan dividiéndolos para un promedio de 30 días, lo que permite expresar el recurso solar en $\text{kWh/m}^2/\text{día}$. A partir de este valor se obtiene directamente el número de Horas Sol Pico (HSP), considerando la irradiancia de referencia de 1000 W/m^2 , establecida bajo Condiciones Estándar de Prueba (STC) para la caracterización de módulos fotovoltaicos según normas internacionales como IEC 60904. Como referencia metodológica, se presenta un ejemplo del procedimiento de cálculo aplicado

para uno de los meses analizados, el cual fue replicado de manera consistente para el resto de los datos de irradiación obtenidos en la simulación. Adicionalmente, se considera la temperatura promedio del sitio como parámetro climático de referencia para el análisis del sistema fotovoltaico.

$$\begin{aligned}
 & \text{Irradiación mensual} \\
 & \text{Irradiación diaria: } 30 \\
 & \quad \underline{132,35} \\
 & \text{Irradiación diaria: } \frac{30}{132,35} : 4,41 \text{ kWh/m}^2/\text{dia} \\
 & \text{Con ese valor se determina la HSP diaria:} \\
 & \quad \text{Irradiación diaria} \\
 & \text{HSP diaria:} \\
 & \quad 1 \text{ kW/m}^2 / 4,41 \\
 & \text{HSP diaria:} \quad \quad \quad : 4,41 \text{ H} \\
 & \quad \quad \quad \text{kW/1 m}_2
 \end{aligned}$$

Tabla 2 HSP Y TEMPERATURA DEL SITIO

Meses	Irradiación (global horizontal) kWh/m ² /mes (mensual)	Temperatura (°C)	HSP Diaria (H)
Enero	132,35	11,6	4,41
Febrero	119,3	11,5	3,98
Marzo	118,68	11,5	3,96
Abril	106,6	11,4	3,55
Mayo	122,82	11,8	4,09
Junio	105,49	10	3,52
Julio	124,75	10,1	4,16
Agosto	144,03	10,7	4,80
Septiembre	156,67	11,8	5,22
Octubre	144,67	12,6	4,82

Noviembre	141,25	12,3	4,71
Diciembre	124,18	12	4,14
MINIMA	105,49	10	3,52
MÁXIMA	156,67	12,6	5,22
PROMEDIO	128,40	11,44	4,28

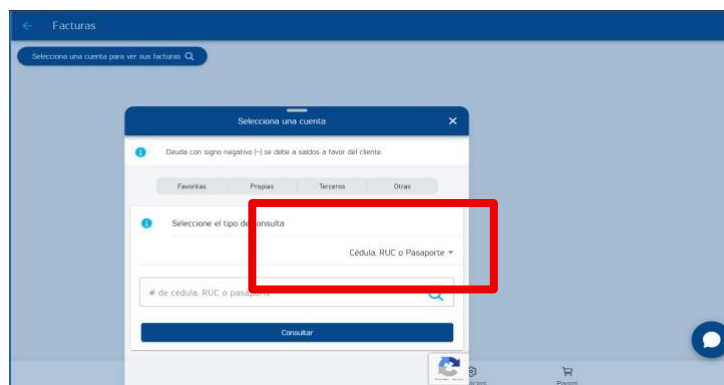
Capacidad nominal del sistema y consumo.

1. CAPACIDAD

Para determinar la capacidad nominal del sistema, se realizará un análisis de los últimos 12 meses referente a los consumos de la vivienda. Para ello, será necesario acceder al portal de la empresa distribuidora CENTROSUR mediante el siguiente enlace: <https://portalcs.centrosur.gob.ec/cuenta-contrato/facturas>.

Una vez dentro de la plataforma de CENTROSUR, la cual presenta la siguiente interfaz, seleccionaremos el recuadro señalado.

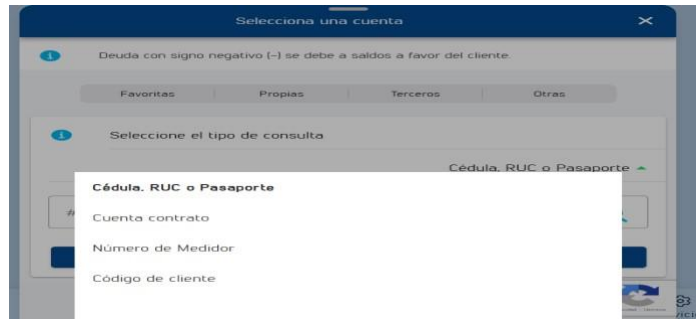
Ilustración 9 Esquema integral de conductores y protecciones



Fuente: Adaptado de Portal Ciudadano: Guía de Servicios y Normativa Eléctrica, por Empresa Eléctrica Regional Centro Sur, s.f., (<https://bit.ly/CentroSur-PV>).

A continuación, se desplegará la pestaña correspondiente, en la cual se deberá seleccionar la opción “Cuenta contrato”.

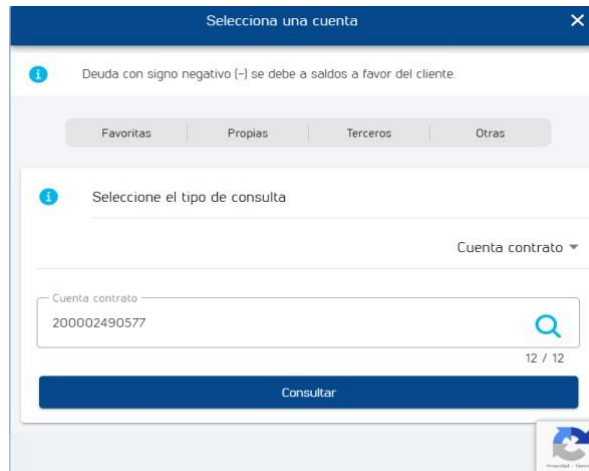
Ilustración 10 Selección de tipo de consulta



Fuente: Adaptado de Portal Ciudadano: Guía de Servicios y Normativa Eléctrica, por Empresa Eléctrica Regional Centro Sur, s.f., (<https://bit.ly/CentroSur-PV>).

En ese apartado se ingresará el valor de la CC, disponible en la Tabla 1, y posteriormente se seleccionará la opción “Realizar consulta”.

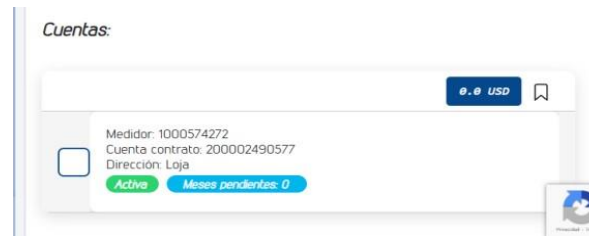
Ilustración 11 Consulta de facturas mediante cuenta contrato.



Fuente: Adaptado de Portal Ciudadano: Guía de Servicios y Normativa Eléctrica, por Empresa Eléctrica Regional Centro Sur, s.f., (<https://bit.ly/CentroSur-PV>).

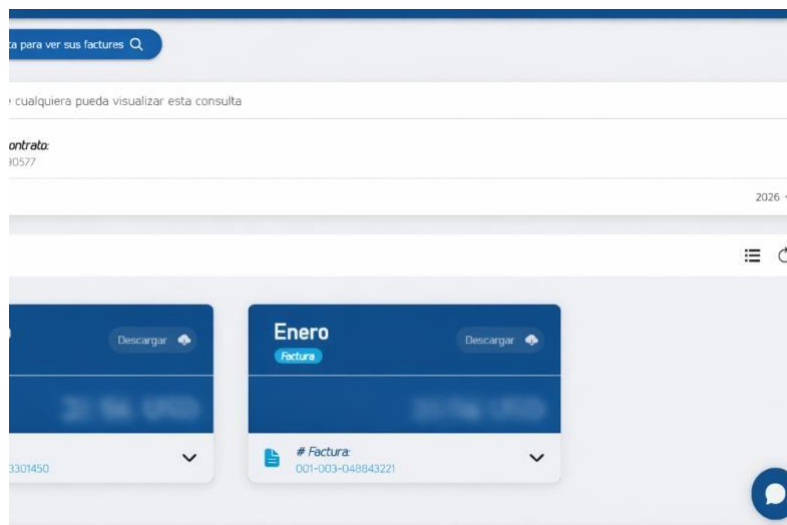
Una vez realizada la acción anterior, se desplegará la siguiente pestaña (ilustración 11). En ella se deberá seleccionar el recuadro señalado; posteriormente, aparecerán las facturas mensuales, conforme se muestra en la Ilustración 12.

Ilustración 12 Consulta de facturas



Fuente: Adaptado de Portal Ciudadano: Guía de Servicios y Normativa Eléctrica, por Empresa Eléctrica Regional Centro Sur, s.f., (<https://bit.ly/CentroSur-PV>).

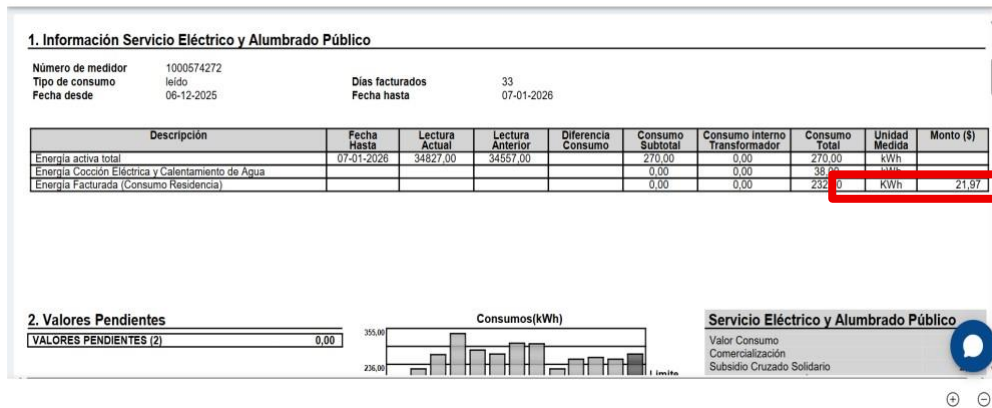
Ilustración 13 Facturas disponibles



Fuente: Fuente: Adaptado de Portal Ciudadano: Guía de Servicios y Normativa Eléctrica, por Empresa Eléctrica Regional Centro Sur, s.f., (<https://bit.ly/CentroSur-PV>).

Para obtener el valor del consumo, será necesario seleccionar la opción “Descargar factura”, tras lo cual se visualizará la siguiente información.

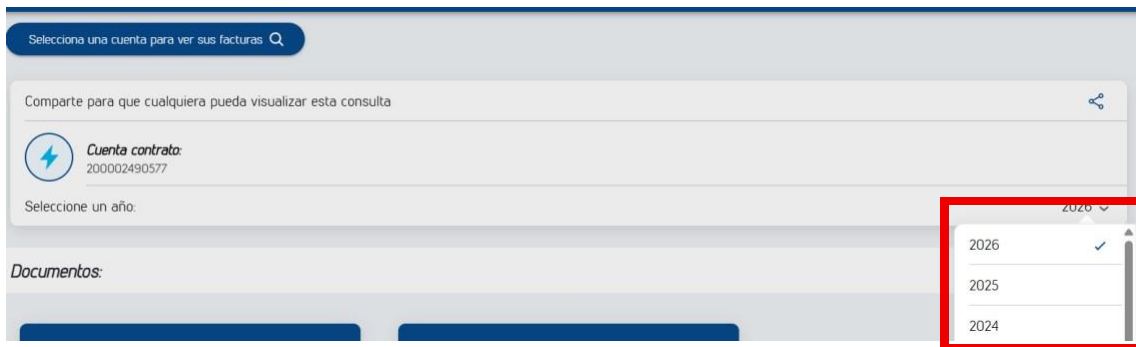
Ilustración 14 Factura eléctrica CENTROSUR



Fuente: Adaptado de Portal Ciudadano: Guía de Servicios y Normativa Eléctrica, por Empresa Eléctrica Regional Centro Sur, s.f., (<https://bit.ly/CentroSur-PV>).

El valor señalado en rojo será el único considerado para determinar la capacidad nominal del sistema. El período de análisis comprenderá desde marzo de 2025 hasta febrero de 2026. Para cambiar el año de facturación, se deberá realizar la selección correspondiente, conforme se muestra en la Ilustración 14, en el recuadro señalado.

Ilustración 15 Selección del año de facturación



Fuente: Adaptado de Portal Ciudadano: Guía de Servicios y Normativa Eléctrica, por Empresa Eléctrica Regional Centro Sur, s.f., (<https://bit.ly/CentroSur-PV>).

Se recuerda que, para acceder al valor de cada factura, el procedimiento deberá realizarse de forma manual, conforme se ha indicado. Con base en ello, se elaborará la siguiente tabla 3:

Tabla 3 Consumos facturados de los últimos doce meses

Año	Mes	Consumo facturado (kWh)
2025	Marzo	232
2025	Abril	238
2025	Mayo	232
2025	Junio	232
2025	Julio	232
2025	Agosto	232
2025	Septiembre	221
2025	Octubre	232
2025	Noviembre	232
2025	Diciembre	232
2026	Enero	232
2026	Febrero	245
Total	${}^{12}_{ET-12} \sum E_{mensual\ i} (kWh)_{i=1}$	2792

Una vez determinada la energía total consumida durante los últimos 12 meses, $\sum^{12}_{i=1} E_{mensual\ i} (kWh)$, se procede a estimar la capacidad nominal requerida del sistema fotovoltaico mediante la ecuación de dimensionamiento correspondiente. Este procedimiento se basa en la relación entre la demanda energética del usuario, el recurso solar disponible en el sitio y la producción específica del sistema fotovoltaico, siguiendo criterios técnicos utilizados en la evaluación de proyectos de generación distribuida por parte de las empresas distribuidoras. La metodología adoptada es consistente con los lineamientos establecidos en la IEC 61724-1, norma que define directrices para la medición y análisis del desempeño de sistemas fotovoltaicos

Ilustración 16 Cálculo de la capacidad nominal

$$\text{Capacidad nominal} = \frac{\sum_{i=\text{mes } 1}^{\text{mes } 12} E_{\text{mensual } i} (\text{kWh})}{F_{\text{planta}} * 8760 (\text{h})} (\text{kW})$$

Fuente: Propia del autor

Para el presente caso de estudio, se adopta un **factor de planta (F_{planta}) de 0,15**. Con este valor se procede a determinar la **capacidad nominal del sistema fotovoltaico**, obteniéndose el resultado mostrado a continuación.

$$\text{Capacidad nominal: } \frac{2792}{15 \cdot 8760} = 0,212 \text{ kW}$$

Capacidad nominal: 2,12 kW

2. Consumos.

Para determinar el consumo diario de la vivienda, se utilizan los valores de energía registrados en la Tabla 2. A partir de estos datos se identifica el consumo máximo mensual registrado durante el año, el cual será utilizado como referencia para el dimensionamiento energético del sistema. Para facilitar este procedimiento, se puede emplear una hoja de cálculo en Excel, aplicando la función +MAX() sobre el conjunto de valores mensuales, tal como se muestra en la Ilustración 9.

Ilustración 17 16 Ejemplo de obtención del valor máximo de consumo.

	B	C	D	E	F
				Consumos (kWh)	
			SEPTIEMBRE	255	
			OCTUBRE	255	
			NOVIEMBRE	255	
			DICIEMBRE	255	
			ENERO	13	
			FEBRERO	263	
			MARZO	237	
			ABRIL	269	
			MAYO	293	
			JUNIO	230	
			JULIO	283	
			AGOSTO	284	
				293	

Fuente: Propia del Autor.

La consideración de este parámetro permite establecer un criterio de dimensionamiento conservador, ya que garantiza que el sistema fotovoltaico sea capaz de cubrir el pico de consumo estacional más alto registrado durante el año. De esta manera, se asegura la autonomía energética del sistema, permitiendo que la generación fotovoltaica satisfaga la demanda incluso en los periodos de mayor consumo dentro del ciclo anual.

Tabla 4 Consumos eléctricos del domicilio

Año	Mes	Consumo (kWh)
2025	Marzo	269
2025	Abril	338
2025	Mayo	284
2025	Junio	270
2025	Julio	307
2025	Agosto	304
2025	Septiembre	221
2025	Octubre	253

2025	Noviembre	259
2025	Diciembre	253
2026	Enero	270
2026	Febrero	245
	Total	3273

Para el presente caso de estudio, el análisis del consumo energético se realiza excluyendo los valores asociados a la tarifa de energía destinada a Cocción Eléctrica y Calentamiento de Agua, los cuales se encuentran diferenciados en la factura eléctrica Ilustración 11. Esta consideración permite que el dimensionamiento del SGDA se base únicamente en el consumo eléctrico convencional de la vivienda.

Ilustración 18 Tabla de factura eléctrica

Descripción	Fecha Hasta	Lectura Actual	Lectura Anterior	Diferencia Consumo	Consumo Subtotal	Consumo interno Transformador	Consumo Total	Unidad Medida	Monto (\$)
Energía activa total	07-11-2025	34304,00	34045,00		259,00	0,00	259,00	kWh	
Energía Cocción Eléctrica y Calentamiento de Agua					0,00	0,00	27,00	kWh	
Energía Facturada (Consumo Residencia)					0,00	0,00	232,00	KWh	21,97

Fuente: Adaptado de Portal Ciudadano: Guía de Servicios y Normativa Eléctrica, por Empresa Eléctrica Regional Centro Sur, s.f., (<https://bit.ly/CentroSur-PV>).

Con el valor del consumo máximo mensual $Q_{(m)}$ se determinará el consumo diario requerido (Q_d) mediante la ecuación que se muestra a continuación. La obtención de este valor es necesaria para el dimensionamiento de los paneles y del sistema de almacenamiento.

$$Q_d: \frac{Q_{(m)}}{30 \text{ dias}}$$

El consumo máximo mensual registrado es 338 kWh con ese valor se procede a calcular el consumo diario.

$$Q_d: \frac{338}{30 \text{ dias}}$$

$$Q_d: 11.2 \text{ kWh}$$

Este valor se complementará considerando que el usuario adquirirá un cargador de vehículo de carga lenta de 3,5 kW. Para el análisis se asumirá que el usuario recorre un total de 60 km diarios.

Tabla 5 Modelo y características del auto eléctrico a adquirir por el cliente

Modelo	Batería (kWh)	Autonomía (Km)
BYD DOLPHIN	44.9	405

C_b

$$\eta: \frac{C_b}{A_v} \cdot 100$$

A_v

Donde:

$$\eta: \text{Rendimiento del vehichulo electrico} \left(\frac{\text{kWh}}{100 \text{ km}} \right)$$

C_b : Capacidad de la bateria del vehiculo (kWh)

A_v : Autonomia del vehiculo electrico (km)

$$\eta: \frac{44,9}{405}$$

$$\eta: 11,08 \frac{\text{kWh}}{100 \text{ km}}$$

$$Q_{dv}: \eta \cdot d_c \text{ Donde:}$$

Q_{dv} : Consumo diario por recorrido realizado (kWh)

d_c : Distancia recorrida (km)

$$Q_{dv}: \eta \cdot d_c$$

$$Q_{dv}: \left(11,08 \frac{\text{kWh}}{100 \text{ km}} \right) \cdot (65)$$

$$Q_{dv}: 7,20 \text{ kWh}$$

El consumo diario total será la suma de Q_{dv} y Q_d :

$$Q_T: Q_{dv} + Q_d$$

$$Q_T: 7,20 + 11,2$$

$$Q_T: 18,4 \text{ kWh}$$

Si se considera este nuevo consumo diario promedio, la energía anual estimada asciende a 6716 kWh/año.

A partir de este valor se procede a determinar la capacidad nominal del sistema fotovoltaico, incorporando en el análisis el incremento de demanda asociado al cargador del vehículo eléctrico.

$$\begin{array}{r} \text{capacidad} \\ \hline \frac{6716}{15 \cdot 8760} \\ \text{nominal: } 0. \\ \text{capacidad nominal: } 5,16 \text{ kW} \end{array}$$

Módulos fotovoltaicos.

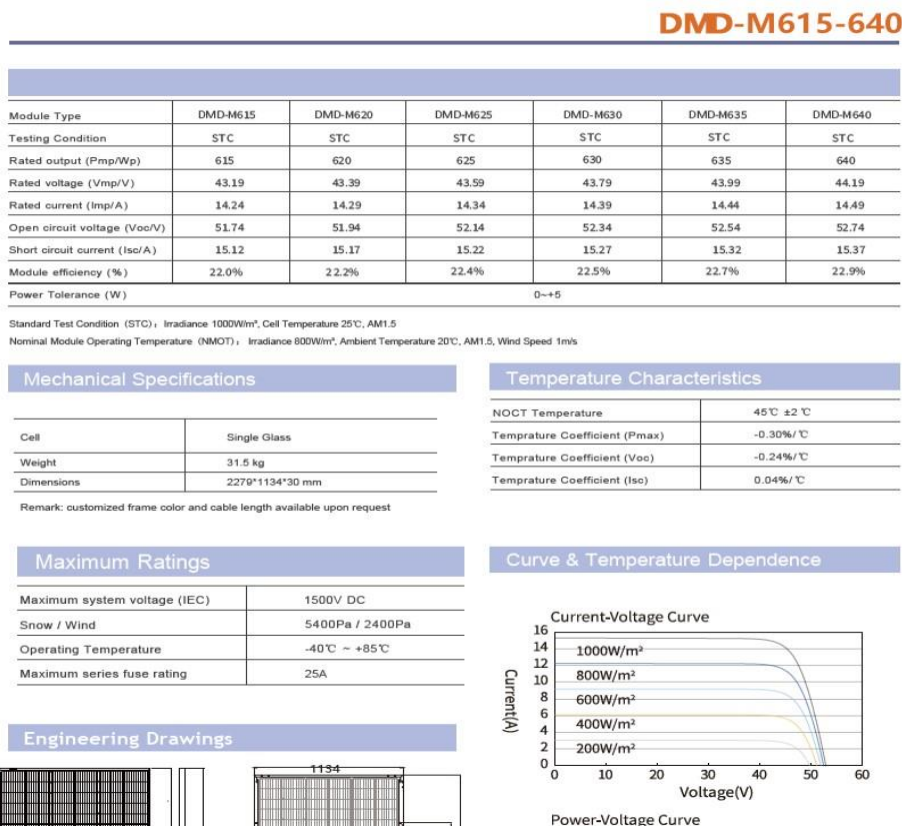
Una vez determinado el consumo energético anual, la HSP mínima del sitio y la capacidad nominal del sistema, se procede al dimensionamiento de los componentes del sistema fotovoltaico. En este estudio se utiliza la HSP mínima como criterio de diseño, ya que representa el periodo con menor disponibilidad de recurso solar a lo largo del año. Considerar este valor permite adoptar un enfoque conservador de dimensionamiento, garantizando que el sistema sea capaz de satisfacer la demanda energética incluso durante el mes con las condiciones de irradiación más desfavorables.

En este caso, el primer paso será determinar el modelo de panel que se utilizará en el diseño. Para su selección, se ha considerado las siguientes recomendaciones:

- Disponibilidad comercial dentro del país.
- Priorizar la mayor potencia posible.
- Eficiencia del panel superior al 20%.

El modelo módulo fotovoltaico seleccionado será el DMD-M615-640 en la ilustración 18 se muestran sus características técnicas. De esta se extraen las siguientes: $P_{m\acute{a}x} = 630\text{ W}$, $U_{oc} = 52,34\text{ V}$, $I_{sc} = 15,27\text{ A}$, $U_{mpp} = 43.79\text{ V}$, $I_{mpp} = 14.39\text{ A}$, $\alpha = 0.04\text{ \%/ }C^{\circ}$, $\beta = -0.24\text{ \%/ }C^{\circ}$.

Ilustración 19 Módulo fotovoltaico monocristalino modelo 630 W de la serie DMD-M615-640.



Fuente: Adaptado de Módulo fotovoltaico monocristalino DMD-M615-640, por DAH Solar (s.f).

En donde:

$P_{m\acute{a}x}$: Potencia maxima del módulo (W).

U_{oc} : Tensión de circuito abierto del módulo (V).

I_{sc} : Intensidad de cortocircuito del módulo (A)

U_{mpp} : Tensión maxima del módulo (V). I_{mpp} : Intensidad maxima del módulo (A) α : coeficiente intensidad – temperatura del módulo (%/ C° o mA/ C°).

β : coeficiente tensión – temperatura del módulo (%/ C° o mA/ C°).

El parámetro de U_{oc} es un valor que tiende a cambiar con temperaturas distintas a las de los ensayos normalizados. Por lo que se recomienda realizar la corrección de este en base a la temperatura más baja del lugar, basado en la tabla 2 la temperatura corresponde a $10\text{ }^{\circ}\text{C}$. Con la siguiente ecuación se obtiene el siguiente valor.

$$U_{oc(T)} = U_{oc} + \beta(T - 25)$$

Para el cual:

$U_{oc(T)}$: Tensión de circuito abierto en un módulo a la temperatura mas desfavorable (V).

β : Coeficiente de tensión – temperatura (%/ $^{\circ}\text{C}$).

T = Temperatura mas desfavorable ($^{\circ}\text{C}$). $U_{oc(T)}$

$$= 52,34 + (-0.24\%)(10 - 25)$$

$$U_{oc(T)} = 52.37\text{ V}$$

Se procede a calcular la potencia mínima del generador fotovoltaico con la siguiente ecuación.

$$P_{Gmin} = \frac{Q_T}{HSP_d}$$

Para el cual:

P_{Gmin} : Potencia mínima del generador fotovoltaico (kW)

Q_T = Consumo diario requerido (Wh)

HSP_d = Horas solar pico diarias (h) Para

el cual:

$$P_{Gmin} = \frac{18,4}{3.52}$$

$$P_{Gmin} = 5,22\text{ kW}$$

Se recomienda además que la potencia máxima del generador no sobrepasara el 20 % del valor P_{Gmin} calculado (bibliografía [1]). Esto se observa mediante la siguiente ecuación.

$$P_{Gmin} \leq P_{Gmax} \leq 1.2 \cdot P_{Gmin}$$

Para el cual:

P_{Gmax} = Potencia maxima del generador fotovoltaico (W)

$$5,22\text{ kW} \leq P_{Gmax} \leq 6,26\text{ kW}$$

EL número de módulos totales se determina mediante la ecuación:

$$N_T \geq N_s \cdot N_p \geq \frac{P_{Gmin}}{P_{máx}}$$

Para el cual:

N_s : Número de módulos en serie.

N_p : Número de módulos en paralelo.

$P_{máx}$: Potencia máxima producida por módulo (kW)

N_T : representan el número total de paneles para el arreglo fotovoltaico.

En donde:

$$N_T \geq \frac{5,22}{0,630}$$

$N_T \geq 8$ paneles.

Inversor.

Para la selección de este se ha considerado las siguientes recomendaciones:

- Su voltaje de salida AC deberá de coincidir con el tipo de voltaje que tenga el consumidor ya sea monofásico, bifásico o trifásico.
- Trabajar a 60 Hz
- Considerar en lo posible un modelo híbrido que cuente con su regulador de carga integrado.
- Su versatilidad al momento de integrarse con distintos modelos de baterías.
- Disponibilidad comercial dentro del país.
- Potencia nominal del inversor igual o mayor a la de la demanda máxima del cliente.
- Que se acople a la necesidad del cliente.

Para el diseño del sistema fotovoltaico, se ha seleccionado el INVERSOR HIBRIDO OFF GRID SPF-6000T-DVM-MPV ilustración 19.

Para esta selección se deben considerar dos aspectos. En primer lugar, el inversor debe cubrir una potencia superior a 5 kW, condición que cumple el modelo seleccionado. Sin embargo, la capacidad nominal del sistema, considerando el cargador vehicular, es de 5,16 kW. De acuerdo con la Regulación ARCONEL-005/24 (codificada), la capacidad declarada en la solicitud del sistema corresponde al menor valor entre la potencia generada por los paneles y

la capacidad del inversor. En este caso, al disponer de 8 módulos de 630 W, la potencia instalada es de 5,04 kW. Este valor no supera la capacidad nominal del sistema y, además, el inversor no podrá generar una potencia superior a dicho valor, manteniéndose dentro del límite establecido.

La selección realizada se basa en la necesidad de maximizar la eficiencia del sistema y el voltaje, especialmente considerando las variaciones de irradiancia solar y temperatura a las que estará expuesta la instalación. Este modelo cuenta con las siguientes características extraídas de su ficha técnica disponible en el anexo 2. $U_{max-PV} = 250 Vdc$, $N_{trk} = 1$,

$I_{max-trk} = 80 A$ y $P_{i-max} = 6000 W$.

Se verifica que este modelo cumple con las recomendaciones establecidas.

Ilustración 20 Inversor Growatt



Se realizó la instalación del inversor como se muestra en la *Ilustración II*. Ver *Anexo A Inversor* para registro fotográfico completo.

Ilustración 21 Inversor híbrido Growatt serie SPF DVM-MPV con controlador MPPT integrado.

Hoja de datos	SPF 4000T DVM-MPV	SPF 5000T DVM-MPV	SPF 6000T DVM-MPV	SPF 8000T DVM-MPV	SPF 10000T DVM-MPV	SPF 12000T DVM-MPV
Voltaje de Batería	48VDC					
Tipo de Batería	Líthio/Plomo-ácido					
Salida de Inversor						
Potencia nominal	4KW	5KW	6KW	8KW	10KW	12KW
Sobretensión	12KW	15KW	18KW	24KW	30KW	36KW
Tipo de onda	Onda senoidal pura igual que la entrada (modo bypass)					
Voltaje nominal de salida RMS	104-110-115-120/208-220-230-240VAC (opcional)					
Frecuencia de Salida CA	50Hz/60Hz +/-0.3 Hz					
Eficiencia max.	>85%					
Tiempo de transferencia	10ms(max)					
Cargador Solar						
Corriente máxima de carga PV	80A			120A		
Máxima potencia PV	5000W			7000W		
Número de MPPT/cadenas por MPPT	1/1			2/1		
Rango MPPT @ Voltaje de operación (VDC)	60~245VDC			60~245VDC		
Max. Voltaje de circuito abierto PV	250VDC			250VDC		
Máxima Eficiencia	>97.5%			>97.5%		
Entrada de CA						
Voltaje	240VAC					
Rango de voltaje seleccionable	184~272VAC (Para computadoras); 54~272VAC (Para electrodomésticos)					
Rango de Frecuencia	50Hz/60Hz (detección automática)					
Máx. Corriente de carga	40A	50A	60A	70A	80A	100A
Datos Generales						
Grado de protección	IP20					
Dimensiones	360/540/218mm	360/540/218mm	360/540/218mm	380/650/225mm	380/650/225mm	380/650/225mm
Peso	42kg	47kg	52kg	64kg	66kg	75kg
Entorno Operativo						
Temperatura de Operación	0°C to 45°C					

Fuente: Adaptado de Inversor híbrido SPF 4000–12000T DVM-MPV, por Growatt New Energy Co., Ltd. (s.f.).

Donde:

U_{max-PV} : Voltaje máximo admisible del inversor (Vdc).

N_{trk} : Número de rastreadores (Adimensional).

$I_{max-trk}$: Corriente máxima de entrada por MPPT (Adc).

P_{i-max} : Potencia máxima admisible del inversor.

Distribución de módulos por inversor.

Cada inversor tiene capacidad para albergar hasta 10 módulos del modelo seleccionado.

Considerando que dispone de una entrada, para este caso, se configurará 2 cadenas N_{si} compuesta por 4 módulos en serie de las cuales las se van a conectar en paralelo N_{pi} : 2

Es necesario verificar que los parámetros eléctricos de cada cadena no excedan los límites admisibles del inversor. Por lo tanto, se procede a realizar una comprobación:

$$N_{si} \cdot U_{oc(T)} \leq U_{max_PV}$$

$$N_P \cdot (I_{sc} \cdot 1.25) \leq I_{max_trk}$$

Entonces:

$$4 \cdot (52,37 V) \leq 250 V$$

$$209,48 V \leq 250 V \text{ Si cumple.}$$

Para determinar la corriente que producen las cadenas en paralelo.

$$2 \cdot (15.27 \text{ A} \cdot 1.25) \leq 87 \text{ A}$$

$$35,98 \text{ A} \leq 87 \text{ A} \text{ Si cumple}$$

En resumen, se tiene la siguiente configuración:

$$N_P: 2 \text{ cadenas}$$

$$N_{st}: 4$$

Baterías.

Al igual que el caso anterior se presentan las siguientes recomendaciones para este caso:

- Su voltaje de salida dc y corriente de carga tendrá que coincidir con el admisible del cargador dentro del inversor.
- Disponibilidad comercial dentro del país.
- Dado que se busca utilizar de manera continua se recomienda tecnología de litio.
- Capacidad de expansión en almacenamiento.

En este caso al ser un sistema que necesito respaldo en ausencia del sol el uso de baterías es indispensable por lo que se selecciona el modelo "AXE 5.0L" de Growatt sus características se muestran en la Figura 20.

Ilustración 22 Batería modular de litio ferrosulfato Growatt AXE 5.0L para almacenamiento de energía en sistemas fotovoltaicos.

Módulo de batería	AXE 5.0L - CT 15.0kWh, 51.2V, 40kg									
Número de módulos	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Capacidad de energía	5.0kWh	10.0kWh	15.0kWh	20.0kWh	25.0kWh	30.0kWh	35.0kWh	40.0kWh	45.0kWh	50.0kWh
Potencia nominal ¹	3kW	6.1kW	9.1kW	12.1kW	15.1kW	18.1kW	21.1kW	24.1kW	27.1kW	30.1kW
Corriente nominal de carga máxima	45A	135A	165A	165A	165A	165A	165A	165A	165A	165A
Potencia pico	4.4kW@3s	9.3kW@3s	9.3kW@3s	9.3kW@3s	9.3kW@3s	9.3kW@3s	9.3kW@3s	9.3kW@3s	9.3kW@3s	9.3kW@3s
Dimensiones (AnxAlxA) ²	450/350/145mm	450/350/305mm	450/350/465mm	450/350/625mm	450/350/785mm	450/350/945mm	450/350/1105mm	450/350/1265mm	450/350/1425mm	450/350/1585mm
Peso	42kg	85kg	128kg	169kg	210kg	252kg	293kg	335kg	376kg	418kg
General										
Tipo de batería	Litio Ferrosulfato libre de cobalto									
Voltaje nominal	51.2V									
Voltaje de operación	48 - 57.4V									
Protección ambiental	IP20									
Instalación	Instalación sobre base ³									
Temperatura de operación	0-50°C									
Características										
Dc/D	92%									
Tamaño de batería en paralelo	Máx. 8 torres de baterías en paralelo (Máx. 400kWh)									
Parámetros de monitoreo BMS	SOC, voltaje del sistema, corriente, voltaje de celda, temperatura de la celda, medición de la temperatura del PCB									
Puerto de comunicación	CAN/RS485									
Garantía (10 años)	SI									
CE, RoHS, UL954, FCC, UN38.3, IEC62133										

Fuente: Adaptado de Batería modular AXE 5.0L, por Growatt New Energy Co., Ltd. (s.f.).

Se determina ahora el consumo medio diario en Ah de la instalación con la ecuación.

$$q_d = \frac{Q_T}{U_B}$$

Donde:

q_d : Consumo medio diario (Ah)

U_B : Voltaje nominal de la batería

Antes de determinar se debe de considerar que al cliente le interesa respaldar su hogar un total de 10 horas por lo que tendremos que ajustar el consumo diario a este tiempo con una simple regla de 3.

$$Q^{10h} = \frac{Q_T * 10}{24}$$

$$Q^{10h} = \frac{17850 * 10}{24}$$

$$Q_{10h} = 7437,5$$

Con este valor determinamos nuestro q_d :

$$q_d = \frac{7437,5}{51,2}$$

$$q_d = 145.26 \text{ Ah}$$

Para este tipo de batería el fabricante recomienda una profundidad de descarga del 92%.

Para calcular la capacidad de los acumuladores se aplica la ecuación.

$$C = \frac{q_d}{P_{Dmax}}$$

Donde:

C : Capacidad de los acumuladores o baterías.

P_{Dmax} : Profundidad de descarga (adimensional).

$$C = \frac{145.26}{0.92}$$

$$C = 157.89 \text{ Ah}$$

Utilizando este valor de capacidad y aplicando la ecuación que se muestra a continuación, se procede a calcular el número de baterías que deben conectarse en paralelo para alcanzar la capacidad total requerida por el sistema.

$$N_{bp} = \frac{C}{c_b}$$

Donde se tiene que:

N_{bp} : Número de baterías en paralelo.

c_b : Capacidad nominal del acumulador (Ah)

$$N_{bp} = \frac{157,89}{100}$$
$$N_{bp} \approx 1,57 = 2$$

En este caso, no es necesario calcular la cantidad de baterías en serie, ya que, para esta configuración y conforme a la recomendación adoptada, el voltaje nominal de la batería coincide con el voltaje de carga del inversor.

Una vez determinado el número de baterías requerido, se procede a verificar la autonomía real del sistema con la configuración obtenida. Este recálculo permite comprobar si la capacidad total de almacenamiento instalada satisface el tiempo de respaldo establecido en el diseño

$$N_{bp} = 2$$
$$C = c_b \cdot N_{bp}$$
$$A = \frac{C \cdot P_{Dmax}}{q_d}$$

Entonces:

$$C = 100 \cdot 2$$
$$C = 200 \text{ Ah}$$
$$A = \frac{200 \cdot 0,92}{145,26}$$
$$A = 1.26$$

Recuerde que un valor igual a uno indica que el sistema cubrirá las 10 horas previstas. Para determinar la autonomía real, se multiplica este valor (A) por el número de horas, obteniéndose una capacidad de respaldo de hasta 12 horas. Este resultado no representa inconveniente, ya que se requiere que el banco de baterías cubra un tiempo igual o superior al solicitado por el cliente.

Ilustración 23 Instalación de baterías



Instalación de batería, véase en *Ilustración III*.

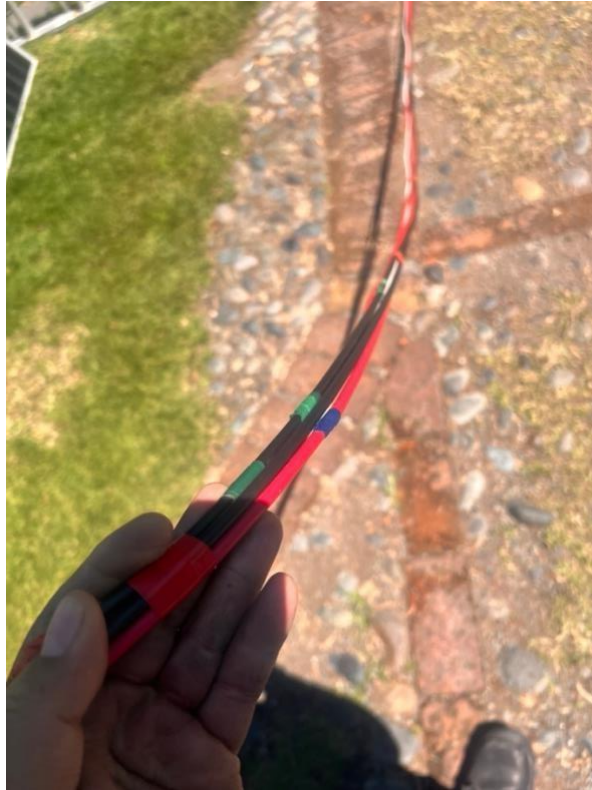
Ver *Anexo B Bateria* para registro fotográfico completo.

Conductores.

Se recomienda que para sistemas solares fotovoltaicos establece ciertos límites de caída de tensión para asegurar una operación eficiente y segura de los sistemas. Generalmente, se recomienda que la caída de tensión máxima en sistemas de energía solar fotovoltaica no exceda el 3% en el tramo de los paneles solares al inversor. Estas recomendaciones pueden variar ligeramente dependiendo de las especificaciones del proyecto y la normativa local vigente.

Preparación de conductores incluyendo el tubo de protección, véase en *Ilustración IV*.

Ilustración 24 Conductores



Conductor DC.

$$S = \frac{2 \cdot L \cdot I}{\Delta U_{\%} \cdot \sigma}$$

Conductor AC.

$$S = \frac{2 \cdot L \cdot I \cdot fp}{\Delta U_{\%} \cdot \sigma}$$

Donde:

S: Sección del conductor (mm²).

L: Longitud del trayecto (m).

I: Corriente de línea (A).

$\Delta U_{\%}$: Caída de tensión máxima permisible porcentual por tensión (%).

fp: factor de potencia (adimensional).

m

$$\sigma: \text{Conductividad del cable} \left(\frac{\text{mm}^2}{\Omega} \right)$$

La determinación de la máxima caída de tensión permisible se realiza considerando la trayectoria de corriente más desfavorable y el $\Delta U_{\%} = 3\%$ de caída de tensión máxima.

Calculamos la caída de voltaje con la ecuación (22).

$$\Delta U = U_s \cdot \Delta U_{\%} \quad (22)$$

Para el cual:

ΔU : Caída de voltaje máxima (V)

U_s : Voltaje de salida (V)

Para la conductividad en DC $\sigma = 45 \left(\frac{\text{mm}^2}{\Omega} \right)_m$ y para AC $\sigma = 56 \left(\frac{\text{mm}^2}{\Omega} \right)_m$.

Trayecto 1: Conexión entre módulos e inversor.

Tomamos la $I_{sc} = 15.27 \text{ A}$ con un coeficiente de seguridad de 1.25 entonces se tiene: $I_{T1} = 1.25 \cdot 15.27 = 19 \text{ A}$ con una longitud de $L = 15 \text{ m}$.

$$\begin{aligned} \Delta U_{\%1} &= 209,48 \text{ V} \cdot 3\% \\ \Delta U_{\%1} &= 6,28 \text{ V} \\ S^1 &= \frac{2 \cdot 15 \cdot 19}{45 \cdot 6,28} \\ S_1 &= 2.01 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Trayecto 2: Conexión entre banco de baterías e inversor.

Para este caso en específico la batería cuenta con cable especial calibre 2 AWG recomendado por el fabricante.

Trayecto 3: Conexión entre el inversor a las protecciones.

En este caso la intensidad máxima que maneja el inversor dada en su ficha técnica $I_{i-ca} = 27,27 \text{ A}$ entonces $I_{T3} = 1.25 \cdot 27,27 = 34,08 \text{ A}$ con una longitud de $L = 5 \text{ m}$.

Para esto se considera que la caída de tensión máxima permisible será del 4% según la NTE INEN 3098, Voltajes Normalizados.

$$\begin{aligned} \Delta U_{\%3} &= 110 \cdot 4\% \\ \Delta U_{\%3} &= 4,4 \text{ V} \\ S^3 &= \frac{2 \cdot 5 \cdot 34,08 \cdot 0.9}{4,4 \cdot 56} \\ S_3 &= 1,24 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

El cálculo por caída de tensión con $\Delta U = 4\%$ y $L = 5\text{ m}$ arroja una sección mínima teórica cercana a $1,24\text{ mm}^2$. Sin embargo, este valor no gobierna el diseño, ya que el conductor debe cumplir además el criterio de capacidad de conducción de corriente (ampacidad) para $I = 34,08\text{ A}$ y el criterio de coordinación con la protección. Por lo tanto, se adopta la sección comercial que cumpla ampacidad según la normativa de instalaciones (NEC-SB-IE/criterio equivalente), resultando una sección mayor en este caso un calibre N.-8 AWG.

Tabla 6 Sección calculada y sección comercial seleccionada para los conductores

Sección	Sección calculada por caída de tensión e intensidad.	Sección comercial e intensidad del conductor
S_1	$2,01\text{ mm}^2/19\text{ A}$	$4\text{ mm}^2/ 29\text{ A}$
S_2	----	$33.6\text{ mm}^2/ 95\text{ A}$
S_3	$1,24\text{ mm}^2/34,08\text{ A}$	$10\text{ mm}^2/ 40\text{ A}$

Protecciones.

Protección para los módulos fotovoltaicos.

En este caso, no existen módulos en paralelo, puesto que cada entrada del inversor funciona de manera independiente. Por consiguiente, se utiliza directamente la $I_{sc} = 15.27\text{ A}$ con la ecuación descrita para calcular la capacidad de la protección.

$$I_{fpv} = 1,25 \cdot I_{sc} \text{ Donde:}$$

I_{fpv} : Corriente del fusible para protección por string/cadena de paneles (A)

$$I_{fpv} = 1,25 \cdot 15.27$$

$$I_{fpv} = 19\text{ A} \text{ Para}$$

el voltaje se usa la ecuación:

$$U_{fpv} = 1,2 \cdot N_{si} \cdot U_{oc(T)}$$

Donde:

U_{fpv} : Voltaje del fusible para protección por string/cadena de paneles (V)

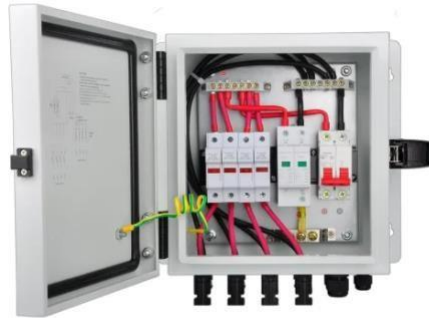
$$U_{fpv} = 1,2 \cdot 4 \cdot 52,37$$

$$U_{fpv} = 251,37\text{ V}$$

Para este caso específico se utilizará una caja combinadora, ya que el inversor dispone de una sola entrada. Esta caja contará con fusibles DC de $20\text{ A}/1000\text{ V}$ que, en su salida, se combinan

hacia un breaker DC general de 63 A a 1000 V, el cual proporciona una única salida hacia el inversor.

Ilustración 25 Caja combinadora fotovoltaica (PV Combiner Box) para conexión de strings en corriente continua con protecciones eléctricas integradas.



Fuente: Adaptado de PV Combiner Box 4 String, por PowGrow (s.f.). Amazon.

Protección para la salida del inversor.

Se obtiene la corriente para la salida máxima para la salida del inversor. Este modelo considera un factor de potencia unitario.

$$I_{ca}: \frac{6000}{220 * 1}$$
$$I_{ca} = 27,27 \text{ A.}$$
$$I_n = I_{ca} \cdot 1.25 \quad (f)$$

Entonces:

$$I_n = 27,27 \cdot 1.25 \quad (f)$$
$$I_n = 34,08 \text{ A}$$

Se seleccionará un interruptor termomagnético bifásico de 50 A.

Ilustración 26 Interruptor termomagnético bipolar 50 A curva C utilizado para protección de circuitos en corriente alterna.



Fuente: Adaptado de Interruptor termomagnético Easy9 2P 50A 10kA curva C, por Schneider Electric (s.f.).

Adicionalmente, con el fin de cumplir con lo establecido en la [Regulación ARCONEL005/24 \(codificada\)](#), para sistemas de generación distribuida, se implementará un relé de protección para la desconexión del sistema, ajustado al mismo valor de corriente nominal del circuito. Este dispositivo permitirá garantizar la protección y desconexión automática del sistema fotovoltaico ante condiciones anómalas, asegurando la coordinación con los sistemas de protección de la red y el cumplimiento de los requisitos técnicos exigidos por la normativa vigente.

Ilustración 27 Relé de protección utilizado para supervisión y



Fuente: Adaptado de Protector de voltaje y corriente de tres pantallas tipo riel DIN, por Mercado Libre (s.f.).


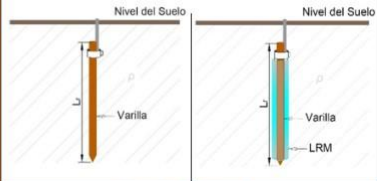
SISTEMA PUESTA A TIERRA

Las condiciones de puestas a tierra para el proyecto fotovoltaico se ha colocado 1 varilla de puesta a tierra de 1,8 m soldadas con suelda exotérmica y la aplicación de GEM mejorador de suelo, según se muestra en la siguiente tabla de cálculo de sistemas de puesta a tierra. Para simular esto se utilizará el siguiente Excel que se muestra en la imagen.

Ilustración 28 Instalación de varilla de cobre bajo tierra



Ilustración 29 Configuración de sistema de puesta a tierra (SPT) mediante varilla vertical y cálculo de resistencia eléctrica del electrodo.

Diseño de Sistemas de Puesta a Tierra (SPT)		1 Varilla de Tierra		
				
Varilla (electrodo) Longitud "Lr" (m) 1,8 radio "b" (m) 0,008		Costo de Materiales Varilla + Conector (V) USD 15,84 V+LRM premezclado USD 31,18 V+LRM seco USD 53,47		
Conductor Calibre 2 radio "a" (m) 0,003710		ρ ($\Omega \cdot m$) 40	Resistencia "R" (Ω) 20,52	R con LRM (Ω) 12,52
Resistencia (Ω) 25 Aplicación Neutro de acometida en baja tensión. Descargas Electrostáticas.				

Fuente: Diseño de sistemas de puesta a tierra (SPT), Universidad Politécnica Salesiana (s.f.), Repositorio Institucional UPS.

Resultados

A partir del análisis del consumo eléctrico de la vivienda, se determinó la demanda energética diaria necesaria para el dimensionamiento del sistema fotovoltaico híbrido off-grid. La identificación de las cargas permitió establecer el requerimiento energético en Wh/día, parámetro fundamental para definir la capacidad del generador fotovoltaico y del sistema de almacenamiento.

El análisis del recurso solar del sitio, correspondiente a la ciudad de Cuenca, permitió determinar el valor de Horas Sol Pico (HSP), el cual representa la energía solar disponible para la generación fotovoltaica. Este parámetro permitió calcular la potencia requerida del arreglo fotovoltaico, estableciendo la cantidad de módulos necesarios para cubrir la demanda energética de la vivienda.

Como resultado del dimensionamiento, se definió la configuración del generador fotovoltaico, seleccionando módulos monocristalinos de alta eficiencia, cuya potencia permite cubrir el consumo energético diario considerando las condiciones de irradiación del sitio. La capacidad del sistema se determinó en función de la energía requerida y del rendimiento esperado del sistema fotovoltaico.

El dimensionamiento del banco de baterías permitió establecer la capacidad de almacenamiento necesaria para suministrar energía en periodos sin radiación solar, garantizando el abastecimiento energético de la vivienda durante condiciones de baja generación fotovoltaica o durante la noche. La selección de baterías de tecnología de litio (LiFePO₄) permite disponer de mayor profundidad de descarga y mayor vida útil en comparación con tecnologías convencionales.

En relación con la conversión de energía, se seleccionó un inversor híbrido con controlador MPPT integrado, cuya capacidad nominal permite alimentar las cargas de la vivienda en corriente alterna y gestionar la energía proveniente del sistema fotovoltaico y del banco de baterías. Este equipo permite la operación del sistema en configuración off-grid, proporcionando energía de forma autónoma.

Adicionalmente, se determinaron las características de los conductores eléctricos tanto en corriente continua (DC) como en corriente alterna (AC), considerando la capacidad de corriente y las condiciones de instalación, lo que permitió definir una configuración adecuada para la conexión entre paneles solares, inversor y banco de baterías.

Se definieron también los dispositivos de protección eléctrica necesarios, incluyendo protecciones contra sobrecorriente y sobretensión, con el fin de resguardar los equipos del sistema fotovoltaico ante posibles fallas eléctricas. Asimismo, se establecieron los criterios técnicos para el sistema de puesta a tierra, con el objetivo de proporcionar protección ante fallas y descargas eléctricas

Conclusiones

1. El análisis del consumo eléctrico del usuario determinó una demanda anual de 3273 kWh/año, con un consumo máximo mensual de 338 kWh, valor que se utilizó como criterio de diseño conservador para asegurar que el sistema fotovoltaico pueda cubrir los periodos de mayor demanda energética de la vivienda.
2. Al considerar la incorporación de un vehículo eléctrico con consumo estimado de 60 km diarios, la demanda energética anual proyectada aumenta hasta aproximadamente 6716 kWh/año, lo que influye directamente en la capacidad nominal requerida del sistema fotovoltaico y permite prever un incremento futuro de la demanda energética del usuario.
3. El dimensionamiento del sistema considera una potencia fotovoltaica instalada cercana a 5 kW, valor obtenido a partir de la relación entre el consumo energético y las Horas Sol Pico (HSP) obtenidas mediante PVGIS, permitiendo estimar una generación anual capaz de cubrir la demanda energética calculada para el sistema.
4. El dimensionamiento del banco de baterías permitió determinar una autonomía aproximada de 12 horas, valor que supera el tiempo mínimo de respaldo considerado en el diseño, evidenciando que la capacidad de almacenamiento seleccionada es suficiente para cubrir el suministro energético durante periodos sin generación fotovoltaica dentro de las condiciones establecidas en el estudio.

Referencias

- Castejón Oliva, A., & Santamaría Herranz, G. (2010). *Instalaciones solares fotovoltaicas*. Editorial Editex.
- Fernández Ferichola, J. (2009). *Caracterización de módulos fotovoltaicos con dispositivo portátil*.
- Guasch Murillo, D. (2003). *Modelado y análisis de sistemas fotovoltaicos*. (Tesis doctoral), Universitat Politècnica de Catalunya.
- López, D., & Arias, M. (2020). Estimación del consumo energético de una vivienda. *Ingenio Magno*, (11)((1)), 88–97.
- Sales, I. I., & Pardillos, S. C. (s.f.). *Estudio de acumuladores de energía*.
- Style, O. (2012). *Energía solar autónoma: Planificación, dimensionado e instalación de un sistema fotovoltaico autónomo*. Oliver Style.
- Universidad Politécnica Salesiana. (s.f.). *Repositorio institucional UPS*. Obtenido de <https://dspace.ups.edu.ec/>

Anexos
Anexo A Inversor



Anexo
B Bateria



Anexo

D Diagrama Unifilar Sistema Fotovoltaico

