

Planteamiento de un diseño solar fotovoltaico que supla la demanda de energía eléctrica de una vivienda residencial de estrato 6

Proposal for a photovoltaic solar design to supply the electrical energy demand of a high-end residential home (stratum 6)

Daniel A. Pérez Salamanca ¹ y Deiver Saavedra Cotrina ²

Fecha de Recepción: 29 de noviembre de 2024

Fecha de Aceptación: 11 de septiembre de 2025

Cómo citar: Pérez Salamanca, D.A., Saavedra Cotrina, D. (2025). Planteamiento de un diseño solar fotovoltaico que supla la demanda de energía eléctrica de una vivienda residencial de estrato 6. *Tecnura*, 29(85), 63-88. <https://doi.org/10.14483/22487638.22961>

Resumen


Objetivo: desarrollar un sistema fotovoltaico optimizado para cubrir la demanda energética de una vivienda residencial de estrato 6 en Bogotá, mediante la evaluación de su viabilidad técnica y económica. El estudio se centra en garantizar autosuficiencia energética y rentabilidad, con adaptación a las condiciones específicas de consumo y ubicación.


Metodología: se caracterizó el consumo energético de la vivienda y las condiciones técnicas del sitio para dimensionar los componentes del sistema: paneles solares, inversor, protecciones y cableado, y cumplimiento de normativas vigentes. El análisis económico incluyó inversión inicial, ahorros energéticos, costos operativos y flujos de caja, y cálculo de indicadores de rentabilidad como VPN y TIR.

Resultados: se determinó la instalación de nueve paneles policristalinos de 340 W y un inversor trifásico Huawei, con una inversión total de COP 13 473 012. El sistema demostró alta rentabilidad, con un valor presente neto (VPN) de COP 80 814 521 y una tasa interna de retorno (TIR) del 35,4 %, con ganancias a partir del quinto año. Además, se logró una reducción de emisiones de 0,30016 toneladas de CO₂.

Conclusiones: el sistema fotovoltaico implementado optimizó los espacios disponibles y mostró rentabilidad excepcional, y superó en 23,4 puntos porcentuales la tasa de descuento mínima requerida. La proyección a 25 años confirma su viabilidad financiera y ambiental, con ganancias significativas y un impacto positivo en la reducción de emisiones.

Palabras clave: sistema fotovoltaico, viabilidad financiera, eficiencia energética, energía solar residencial, autosuficiencia energética.

¹Ingeniero ambiental, Universidad Santo Tomas.  Bogotá, Colombia. Email: perezdaniel0326@gmail.com

²IDocente y coordinador de Maestría, Facultad de Ingeniería Ambiental, Universidad Santo Tomás . Máster en Energías Renovables, Universidad Europea del Atlántico (2020). Maestría en Gestión y Auditorías Ambientales, Universidad Internacional Iberoamericana. Especialista en Evaluación Ambiental de Proyectos, Universidad Manuela Beltrán. Administrador ambiental, Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Email: deivervsc@gmail.com

Abstract

Objective: To develop an optimized photovoltaic system to meet the total energy demand of a stratum 6 residential home in Bogotá, evaluating its technical and economic feasibility. The study focuses on ensuring energy self-sufficiency and profitability, tailored to specific consumption and location conditions.

Methodology: The home's energy consumption and site technical conditions were characterized to size the system components: solar panels, inverter, protections, and wiring, complying with current regulations. The economic analysis included initial investment, energy savings, operational costs, and cash flows, calculating profitability indicators such as NPV and IRR.

Results: The installation of 9 polycrystalline 340 W panels and a three-phase Huawei inverter was determined, with a total investment of COP 13 473 012. The system demonstrated high profitability, with an NPV of COP 80 814 521 and an IRR of 35,4 %, generating profits from the fifth year. Additionally, an emissions reduction of 0,30016 tons of CO₂ was achieved.

Conclusions: The implemented photovoltaic system optimized available space and showed exceptional profitability, exceeding the minimum required discount rate by 23,4 percentage points. The 25-year projection confirms its financial and environmental viability, with significant profits and a positive impact on emissions reduction.

Keywords: Photovoltaic system, Financial viability, Energy efficiency, Solar energy, Residential, Energy self-sufficiency.

Introducción

El sistema energético colombiano evidencia una marcada dependencia de la generación hidráulica, la cual representa aproximadamente el 65 % de la producción energética nacional, característica que provoca que el mercado eléctrico sea particularmente vulnerable a los efectos del fenómeno de El Niño. En consecuencia, aumenta la dependencia de la generación térmica, lo que resulta en un incremento en los precios de la energía en bolsa, como en los contratos a largo plazo de distribución (1). En Bogotá hay un impuesto al alumbrado público que se aplica al cobro del servicio público de energía eléctrica, según el estrato de la vivienda. Para el estrato 6 es del 7 % (2). Estas tarifas elevan los costos eléctricos de las viviendas de estratos socioeconómicos con alto consumo energético, lo cual resulta perjudicial tanto para las familias afectadas como para el medioambiente y el sistema eléctrico nacional. Cabe considerar que existen alternativas más sostenibles como los paneles solares, que pueden reducir la dependencia de la energía convencional y aliviar la demanda de la red, así como prevenir los altos consumos.

En este artículo de investigación se explora un diseño específico de sistema fotovoltaico orientado a suplir la demanda eléctrica de una vivienda de estrato 6 en Bogotá. También, se analiza la viabilidad del sistema en función de las condiciones de irradiación solar en Bogotá y las particularidades estructurales de los hogares de estrato alto. Igualmente, se examina el impacto que este tipo de instalaciones tendría en términos de reducción de costos y sostenibilidad.

La investigación desarrolla una propuesta para la implementación de paneles solares fotovoltaicos en áreas residenciales, y evalúa su factibilidad como fuente principal de consumo doméstico de energía. Para ello, se plantea un modelo que analiza la demanda energética de una vivienda de estrato 6 y el potencial aporte solar de la zona de la vereda Suba Naranjos, ubicada en el Antiguo Camino a Suba. Del mismo modo, se inició la planificación necesaria de equipos e infraestructura para este tipo de instalación. Luego, se analizó la gestión inicial y los costos operacionales asociados, con el fin de llevar a cabo una evaluación de la viabilidad del proyecto. Para concluir, el estudio incluye un análisis de retorno de inversión y los ahorros estimados en emisiones de CO₂.

Metodología

La implementación del sistema fotovoltaico se inicia mediante la identificación de una vivienda familiar de estrato 6 en la ciudad de Bogotá, seleccionada específicamente por sus altos índices de consumo energético y sus costosos servicios públicos. El procedimiento técnico requirió un análisis de los patrones de consumo eléctrico y una evaluación integral de la estructura arquitectónica del inmueble.

La instalación del sistema fotovoltaico involucró elementos clave, como los paneles solares, el inversor y el medidor bidireccional, los cuales deben ser dispuestos estratégicamente en la estructura de la vivienda. Para ello, hay que considerar factores como la orientación solar óptima, la capacidad estructural y las rutas de cableado, a partir de los datos históricos de consumo energético. Esta información es crucial para determinar el dimensionamiento adecuado del sistema fotovoltaico, lo cual asegura la integridad estructural de la vivienda, optimiza la generación de energía solar y garantiza su integración con el sistema eléctrico existente.

La disposición de los componentes debe realizarse de manera que no se comprometan la funcionalidad ni el entorno residencial, en cumplimiento de los estándares técnicos requeridos para una operación eficiente y sostenible. En la implantación del sistema fotovoltaico, deben considerarse los consumos energéticos específicos de la vivienda residencial para garantizar un rendimiento óptimo.

Metodología de consumo de energía en la vivienda residencial

Se recolectaron datos acerca del uso mensual de electricidad en una vivienda familiar de estrato 6, a partir de los recibos de luz correspondientes al periodo comprendido entre enero y diciembre de 2023. Además, se consignaron los datos vinculados a los días del calendario y el valor del consumo por mes, con la finalidad de llevar a cabo un estudio del comportamiento

energético a lo largo de ese mismo año. Para ello se debe considerar un total 365 días para completar un año.

Diseño de la estructura arquitectónica de la vivienda

La vivienda está ubicada en un conjunto por la calle 137D con carrera 76A, en Suba, zona conocida también como Antiguo Camino a Suba. En este apartado se construyó un modelo a escala con la aplicación *Cendreo*, un *software* que genera planos en segunda y tercera dimensión a escala (3).

Mes más desfavorable

Para la determinación del mes más desfavorable, se tomaron datos de satélite NASA/POWER CERES/MERRA2 Native Resolution Climatology. Los datos de irradiación solar también son conocidos números de horas solares pico al día de media en cada mes del año (4). Las horas solares de pico (o de punta) son una medición de cantidad de energía solar que se recibe en un punto específico un día determinado. Cuando se habla de una hora solar pico (HSP), se refiere a la energía recibida por una radiación de 1000 W/m^2 durante una hora (4).

Para determinar el mes más desfavorable, se calculó el consumo diario total por cada mes. También se asimiló un factor de seguridad del 25 %, y posteriormente se calcularon los siguientes factores:

El consumo diario total determina cuánto consume de energía la vivienda al día (Ed) en kilovatios hora día (kWh/día). Para esto, consideraremos el consumo mes (Em) en kilovatios hora mes (kWh/mes) registrado por las facturas y los días calendario por mes:

$$\frac{Em}{Dm} = Ed \quad [\text{KWh/día}] \quad (1)$$

El cálculo de la energía diaria real (Edr) en kWh/día es la cantidad de electricidad que realmente genera durante un día bajo las condiciones reales de funcionamiento. Se consideró el factor de seguridad (fs) en unidades adimensionales $Adim$ y el consumo diario total (Ed) en kWh/día :

$$Ed * (Fs + 1) = Edr \quad [\text{KWh/día}] \quad (2)$$

El proceso de cálculo se enfoca en determinar la eficiencia mensual e identificar el mes más desfavorable ($Mdes$) en $Adim$, con el propósito de establecer los requerimientos de generación del sistema fotovoltaico para la vivienda residencial. Para esto, se asumió la energía diaria real (Edr) y horas solares pico (HSP).

$$\frac{HSP}{Edr} = AporteMes \quad [\text{KWh/día}] \quad (3)$$

Metodología para la elección del panel solar

El efecto fotovoltaico fue descubierto en 1839 por el científico Edmond Becquerel. Posteriormente, en 1953, se registró un avance significativo cuando los investigadores Daryl Chapin, Calvin Fuller y Gerald Pearson, pertenecientes a Bell Laboratories, desarrollaron la primera célula solar fotovoltaica de silicio sólido, con la que alcanzaron una eficiencia del 4 % (5). En la actualidad, las células solares fotovoltaicas de silicio convencionales presentan niveles de eficiencia que oscilan entre el 13 % y el 16 % (5).

La tecnología de paneles solares mantiene una estructura básica análoga a la de células solares cristalinas convencionales; así, se diferencia por su capacidad de aprovechar un espectro cromático más amplio para la generación eléctrica (5). Las células solares de silicio cristalino valoran la optimización de los costos de producción a través de la aplicación de varios cristales de silicio de tamaño reducido (policristalinos), lo que constituye una opción más asequible en comparación con la producción de cristales de silicio únicos de mayor tamaño (monocristalinos), aunque conllevan una ligera disminución en su eficiencia de conversión de energía (5), como se muestra en la tabla 1.

Los paneles de silicio policristalino pueden reciclar un 96 % de sus materiales (6,7). Implementar materiales reciclados en un panel solar ayuda a disminuir el consumo de energía en la manufactura en un 50 % (7).

Tabla 1. Comparativa de las características de las celdas solares cristalinas de silicio

Característica	Policristalinas	Monocristalinas
Costos	De 5 % a 7 % más baratas que las monocristalinas.	De 5 % a 7 % más caras que las policristalinas.
Aprovechamiento de la energía	14 % a un 16 %.	20 % a 22 %.
Pureza del silicio	Con algunas impurezas.	Sin impurezas.
Usos	Sistemas fotovoltaicos.	Sistemas fotovoltaicos.

Fuente: (6).

La selección de los paneles tuvo en cuenta las especificaciones técnicas así: P_{max} es la potencia máxima, V_{nom} es el voltaje nominal, V_{oc} es el voltaje en circuito abierto, V_{mp} es el voltaje máximo potencial, I_{mp} es la intensidad máxima potencial, I_{sc} es la intensidad de cortocircuito (8).

Las terminaciones STC (*standart test conditions*) corresponden a las condiciones de laboratorio, que representan el máximo rendimiento ideal, y las NOCT (*nominal operating cell temperature*) representan condiciones más próximas a la operación real bajo un entorno exterior (8).

Para calcular el número de paneles que se necesitan ($(N_t)_{Adim.}$), se determinó la ecuación 4, donde (Lmd) es el consumo medio diario en (Wh), (P_{MPP}) es la potencia pico en (w), (H_{ps}) es la hora solar pico del mes crítico en (h) y (P_g) es igual al factor global de pérdida que es igual a 0,9 (9).

$$N_t = \frac{Lmd}{P_{MPP} \times H_{ps} \times P_g} \quad (4)$$

Elección del inversor

La interconexión de sistemas fotovoltaicos a la red eléctrica se realiza mediante un inversor, el cual transforma la energía de corriente continua (CC) generada por los módulos fotovoltaicos en energía de corriente alterna (CA), y que es utilizable para el suministro energético a dispositivos eléctricos (10). Existen dos tipos de inversores: trifásicos y monofásicos, que se diferencian principalmente en su configuración de conexión eléctrica. El monofásico se conecta a un único circuito de fase, ideal para instalaciones con menor requerimiento energético. Por otro lado, el trifásico distribuye la carga eléctrica en tres fases simultáneas, lo que proporciona mayor estabilidad, eficiencia y capacidad de potencia. Este último es más adecuado para un sistema de mayor demanda energética.

Cálculo de costos de operación y depreciación del sistema fotovoltaico

El índice de precios al consumidor (IPC) mide la variación promedio en los precios de una canasta representativa de bienes y servicios en un periodo determinado, en comparación con un año base. Un IPC más alto significa un mayor costo de los mismos servicios (11).

Por otro lado, la *depreciación* es un concepto contable que refleja la pérdida de valor de un activo a lo largo de su vida útil. Para calcular la depreciación anual (TD), se utiliza el valor residual (VR), que en este caso corresponde al 50 % del valor inicial. Este porcentaje representa el valor depreciable (VD) y supone que, al final de su vida útil, los componentes aún conservarán el 50 % de su valor (12).

$$T_D = 1 - \left(\frac{V_R}{V_D} \right)^{n/2} \quad (5)$$

Evaluación de la inversión

El valor presente neto (VPN) permite poner en pesos de hoy los ingresos y egresos futuros: si $VPN > 0$, entonces hay más ingresos; si $VPN < 0$, entonces hay más egresos (13). Se incorpo-

ra una tasa de descuento del 12 %, seleccionada estratégicamente para evidenciar un nivel de riesgo significativo en la inversión.

La tasa interna de retorno (TIR) es otro indicador de rentabilidad de una inversión, usado comúnmente en el sector público; en este caso, la TIR descompone los flujos de forma que los ingresos y egresos son iguales, desde el punto de vista matemático (13).

Reducción de gases de efecto invernadero del sistema fotovoltaico

En la Resolución n.º 000705 de 2024 de la Unidad de Planeación Minero-Energética (UPME), se establecen los lineamientos para llevar a cabo diagnósticos y estudios que permitieran la formulación de planes y programas orientados a fortalecer el aporte del sector minero y energético a la economía y la sociedad, en un contexto de sostenibilidad (14,15).

Resultados

Consumo de energía en la vivienda residencial

Se consideró el consumo mensual para compensar la energía utilizada durante la noche con la conexión a la red durante el día. El objetivo es evitar el pago del consumo nocturno, por lo que solo se requiere conocer el consumo total para suplirlo y apoyarse en la red sin generar costos adicionales. Se conocen los consumos faltantes por el histórico mostrado en la factura de junio, como se ilustra en la tabla 2.

Tabla 2. Consumo vivienda estrato 6, de enero a diciembre de 2023

Meses	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio
Días facturados	31	28	31	30	31	30
Consumo mes (kW h)	279	261.00	246	260	269	177
Valor mes (COP)	COP244 790	COP 232 670	-	-	-	COP 168 420
Meses	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Días facturados	31	31	30	31	30	31
Consumo mes (kW h)	194.00	193	168	165	202	266
Valor mes (COP)	COP185 950	COP 186 230	COP 164 540	COP 162 930	COP203 200	COP 230 900

Evaluación integral de la estructura arquitectónica de la vivienda

La vivienda residencial se distribuye en tres niveles y una terraza superior. El primer nivel se estructura en tres secciones principales: un espacio social que comprende la sala principal con un área de 46 m², con acceso a una zona de comedor de 17 m² y la cocina. Esta última

tiene un área de 12 m², y acceso a un espacio social; además, alberga el tablero principal de distribución eléctrica para toda la vivienda, como se muestra en la figura 1.

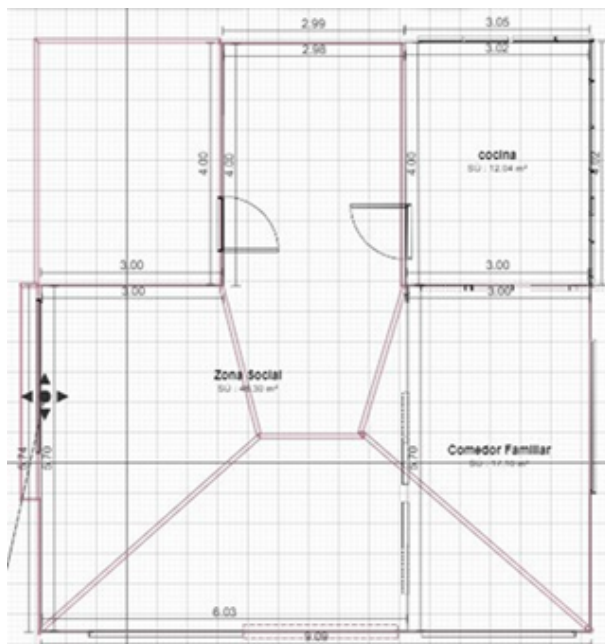


Figura 1. Primera planta de la vivienda familiar

Fuente: Autores.

El acceso al segundo nivel se realiza mediante una escalera helicoidal, donde se distribuyen tres habitaciones y una terraza exterior de 12 m², esta última accesible a través de una ventana, como se muestra en la figura 2.

En la parte superior de la edificación se ubica la terraza principal, que cuenta con un área de 50 m² y un cuarto técnico de 5 m² destinado a la instalación del inversor (figura 3). Esta área consta de un techo de 12 m² disponible para la instalación de los paneles solares. En el techo se encuentra un sistema de calefacción por tanque, que presenta una inclinación con orientación norte, características relevantes para la implementación del sistema fotovoltaico, como se muestra en la figura 4.

Determinación del mes más desfavorable

La selección de estos parámetros de irradiación responde a las características estructurales de la cubierta, la cual presenta una orientación hacia el norte; además, por costos, se dispuso la instalación de acuerdo con la inclinación del techo. Este factor es determinante para la eficiencia del sistema fotovoltaico. En la tabla 3 se detallan los aportes mensuales por medio del uso de datos de radiación correspondientes a promedios anuales para evitar influencias climáticas,

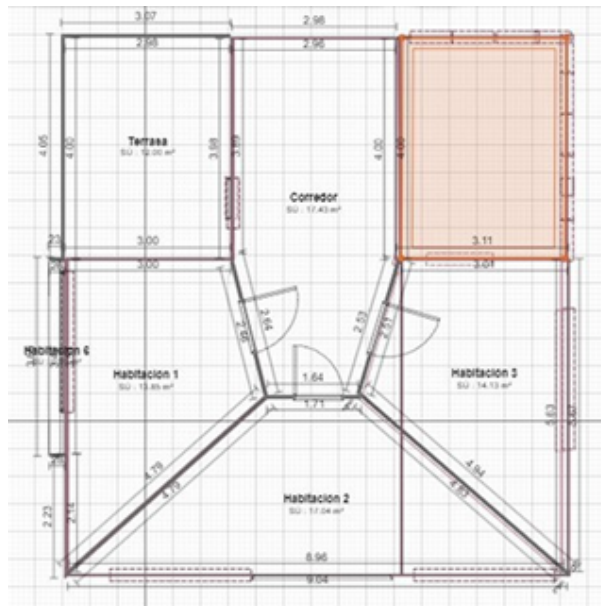


Figura 2. Segunda planta de la vivienda familiar

Fuente: Autores.

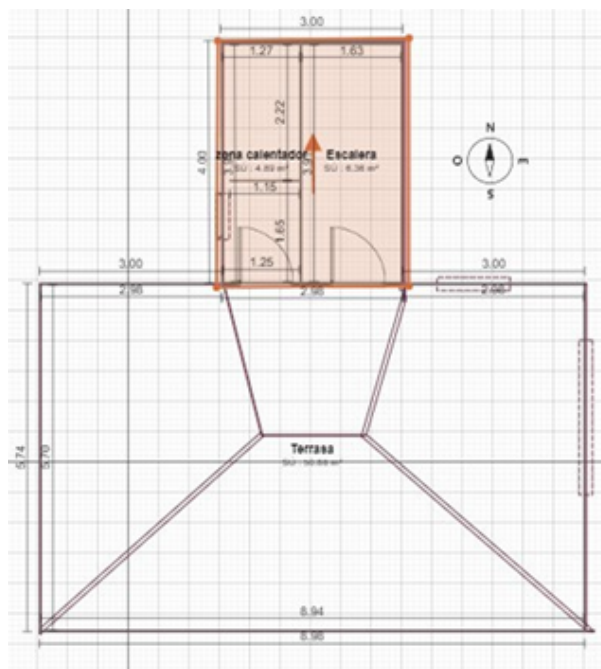


Figura 3. Tercera planta de la vivienda familiar

Fuente: Autores.

como el fenómeno de El Niño (figura 5). El objetivo es facilitar la identificación del mes más favorable para el sistema de generación energética.

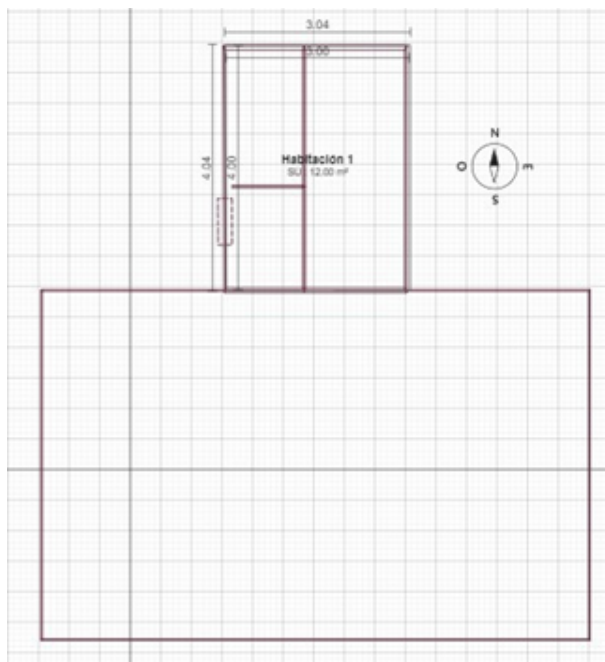


Figura 4. Tercera planta de la vivienda familiar

Fuente: Autores.

PARAMETER	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC
SOL_TLTED_SURFACE_HORIZONTAL	4.51	4.62	4.45	4.56	4.41	4.45	4.55	4.56	4.76	4.65	4.44
SOL_TLTED_SURFACE_LAT_MINUS15	4.55	4.55	4.54	4.56	4.46	4.55	4.65	4.6	4.72	4.45	4.24
SOL_TLTED_SURFACE_LAT_PLUS15	5.03	4.88	4.44	4.34	4.35	4.37	4.45	4.51	4.77	4.65	4.56
SOL_TLTED_SURFACE_VERTICAL	5.26	4.94	4.35	4.12	4.05	4	4.06	4.22	4.6	4.67	4.67
SOL_TLTED_SURFACE_VERTICAL	5.14	2.45	1.64	1.56	1.65	1.64	1.61	1.6	1.65	2.21	2.65
SOL_TLTED_SURFACE_OPTIMAL	5.25	4.55	4.44	4.37	4.46	4.57	4.64	4.6	4.76	4.71	4.67
SOL_TLTED_SURFACE_OPTIMAL_ANGLE	24.5	15.5	2	-5.5	-15	-20.5	-15	-10.5	-6.5	10.5	16
SOL_TLTED_SURFACE_OPTIMAL_ANGLE_CRT	S	S	N	N	N	N	N	N	S	S	S

Figura 5. Radiación solar NASA/POWER CERES/MERRA2 2001-2023

Fuente: Power Nasa.

En la tabla 3, el análisis de los datos permite establecer que enero representa el mes más desfavorable del periodo, al registrar un coeficiente de aporte de 0,3939, el valor más bajo de todos los meses.

Elección del panel solar

Se seleccionó el panel policristalino, por un análisis comparativo de eficiencia y costos, aunque los de tipo monocristalino presentan una eficiencia superior, al oscilar entre un 20 % y un 22 %, en contraste con el rango de un 14 % a un 16 % de los policristalinos. La decisión se sustenta en factores económicos y prácticos: los paneles policristalinos ofrecen una ventaja significativa en términos de costos, pues son entre 5 y 7 veces más económicos, lo que es especialmente relevante en una vivienda residencial donde se prioriza la viabilidad económica tanto en el mantenimiento como en el eventual reemplazo durante su ciclo de vida estimado de 30 años.

Tabla 3. Determinación del mes más desfavorable

Meses	Enero	Febre ro	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septie mbre	Octu bre	Noviem bre	Diciem bre
Em (kWh/mes)	279	261	246	260	269	177	194	193	168	165	202	266
Días facturados	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
Ed (kWh/día)	9,00	9,32	7,94	8,67	8,68	5,90	6,26	6,23	5,60	5,32	6,73	8,58
Fs (Adim)	25 %	25 %	25 %	25 %	25 %	25 %	25 %	25 %	25 %	25 %	25 %	25 %
Edr (kWh/día)	11,25	11,65	9,92	10,83	10,85	7,38	7,82	7,78	7,00	6,65	8,42	10,73
HSP (kWh/día)	4,55	4,59	4,34	4,36	4,48	4,55	4,63	4,60	4,72	4,49	4,24	4,30
Aporte Mes	0,3939	0,4044	0,3939	0,4375	0,4025	0,4130	0,6169	0,5919	0,5911	0,6743	0,5038	0,4009

Fuente: Autores.

Tabla 4. Datos del panel solar de 340 W Policristalino EcoGreen

ESPECIFICACIONES	STC	NOCT
P_{max}	340 W_p	251,53 W_p
V_{nom}	24 V	24,00 V
V_{oc}	46,55 V	43,21 V
V_{mp}	38,37 V	35,44 V
I_{mp}	8,86 A	7,09 A
I_{sc}	9,24 A	7,50 A
Largo	1956 mm	-
Ancho	992 mm	-
Espesor	40 mm	-
Área del panel	1.94 m ²	

Fuente: (16).

Además, estos paneles presentan una disposición final menos perjudicial para el medioambiente, con un índice de reciclabilidad del 96 %. El panel solar seleccionado es de 340 W policristalino EcoGreen con las especificaciones mostradas en la tabla 4.

Se determinó que se necesitan nueve paneles, con características que se muestran en la tabla 5.

Tabla 5. Número mínimo de paneles

Número de paneles calculados	$8.3 N$
Número mínimo de paneles	$9 N$
Potencia mínima a instalar	$3060 W_p$
Área mínima necesaria	$18 m^2$

Fuente: Autores.

Para el diseño de la instalación del conjunto de paneles solares, conocido como diseño de *strings*, nueve se dispusieron en serie, así, quedó una columna en paralelo proporcionada en conjunto con los aportes de la tabla 6.

Tabla 6. Diseño strings

Entradas	N_{serie}	$N_{paralela}$	V_{mp}	V_{oc}	I_{mp}	I_{sc}	P_{max}
MPPT 1	9	1	345	419	8.86	9.24	3060
Total	9	Potencia FV	3060				

Fuente: Autores.

Metodología para la determinación de la ubicación de paneles fotovoltaicos

La ubicación de los paneles fotovoltaicos se determinó en la cubierta de la terraza (figura 4), siguiendo la configuración estructural del tejado vista en la figura 6. La disposición contempla cuatro paneles en la sección frontal y cuatro en la sección posterior, complementados por un panel adicional con soporte triangular ubicado en el área posterior contigua a la zona de la cocina, como se muestra en la figura 6.

Metodología para la elección del inversor

Se identificó que las conexiones al sistema eléctrico son trifásicas, como muestra el contador de la figura 8. Tras conocer las especificaciones de los consumos y los detalles del panel solar, se generó una tabla 8 que muestra los requerimientos mínimos del inversor trifásico.



Figura 6. Techo de la vivienda familiar

Fuente: autores.

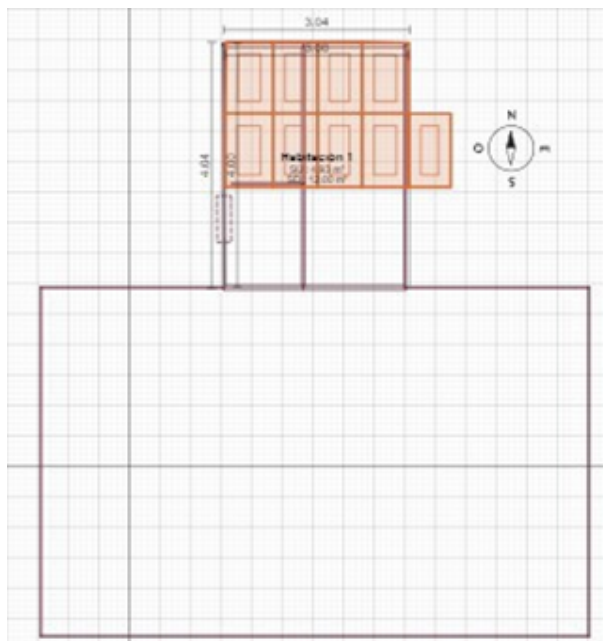


Figura 7. Techo con paneles de la vivienda familiar

Fuente: autores.

Tabla 7. Requerimientos mínimos del inversor

Requerimientos mínimos del inversor	Símbolo	Valor
Potencia mínima del inversor	P_{inv}	3060 W
Potencia recomendada del inversor	P_{inv}	3825 W
Tensión de salida inversor	V_{inv}	120 V
Factor de seguridad	F_s	25 %

Fuente: autores.

El inversor Huawei SUN2000-6KTL de 6 kW es compatible con la instalación fotovoltaica propuesta de 3060 W (tabla 7), compuesta por nueve paneles de 340 W en serie, conectados al MPPT1 que suple la capacidad del inversor de 6000 W. Adicionalmente, la tensión de operación de 419 V (tabla 6) está dentro del rango MPPT (100 V-560 V), con suficiente margen respecto a la tensión máxima DC de 600 V (tabla 8). La corriente máxima del *string* de 9,24 A (tabla 6) es inferior al límite por MPPT de 12,5 A y a la corriente de cortocircuito máxima de 18 A (tabla 8), la capacidad máxima del inversor de 6000 W, lo que garantiza un factor de seguridad adecuado y margen para futuras ampliaciones.

Tabla 8. Especificaciones del inversor

Datos del inversor	
Especificación	Valor
Máxima potencia FV recomendada	9000.0 W
Máxima tensión DC	600.0 V
Tensión de arranque DC	100.0 V
Mínima tensión del MPPT	90.0 V
Máxima tensión del MPPT	560.0 V
Tensión nominal	360.0 V
Corriente máxima MPPT 1	12.5 A
Corriente corto circuito MPPT 1	18.0 A
Corriente máxima MPPT 2	12.5 A
Corriente corto circuito MPPT 2	18.0 A
Potencia nominal de salida AC	6000.0 W
Tensión nominal AC	220.0 V
Corriente máxima de salida AC	27.3 A
Factor de potencia	1.0
Eficiencia máxima	98.4 %

Fuente: autores.



Figura 8. Contador de la vivienda familiar

Fuente: autores.

Metodología para la determinación de la ubicación del inversor

La ubicación del inversor es en la terraza mostrada en la figura 3 en el cuarto que está ubicado el calentador que se indica en la figura 9, lo que facilita la accesibilidad a los paneles y una menor cantidad de cable.



Figura 9. Cuarto del calentador

Fuente: autores.

Metodología para instalación de cableado

Para la instalación del cableado usando (XLPE-EPR) 90 °C, seleccionada por su relación favorable costo/beneficio, en el tramo que conecta los paneles al inversor, se ha considerado una distancia de 3 metros, donde circula una intensidad prevista de 9,24 A y una tensión de 345 V, lo que limita la caída de tensión al 3 %. Para el tramo que conecta el inversor con el tablero de distribución, hay una distancia de 8 m y una intensidad prevista de 27 A a 120 V, con una caída de tensión máxima del 1,5 %. Estos parámetros de diseño han sido determinantes para el cálculo de las secciones de conductores que se especifican en la tabla 9.

Tabla 9. Cálculo de sección cableada

Tramo	L (m)	I (A)	$\cos\phi$	$\Delta U(V)$	$\gamma\vartheta$ (m/Ω/mm ²)	Sección calculada	Sección comercial	Sección AWG
Paneles solares al inversor MPPT1	3	9.24	1	10.36	45.49	0.118	4	12
Inversor-tablero (trifásica)	8	27.3	1	1.8	48.47	4.336	6	10

Fuente: autores.

La vivienda cuenta con un sistema de ductos con las conexiones eléctricas que llevan al tablero principal; uno de estos ductos está ubicado en la escalera de la terraza (figura 3); específicamente, se ve un ducto en dicha zona (figura 10), que permitirá la conexión del inversor a los elementos eléctricos situados en la cocina, como se muestra en las figuras 10 y 11.

Este diseño de la instalación aprovecha la infraestructura de la edificación; así se minimiza la necesidad de trabajos de adaptación y se optimizan los costos de implementación.

Evaluación económica de sistemas fotovoltaicos

Aquí, se adelanta un análisis de los factores económicos que se generan al implementar un sistema fotovoltaico, que permite determinar en qué punto el sistema comenzaría a ser viable, para así caracterizar la pérdida del valor de la instalación y las ganancias que se van acumulando año tras año.



Figura 10. Caja de cableado

Fuente: autores.

Tabla 10. Inversión inicial

Datos del inversor			
Especificación	Valor		
Descripción	Cantidad	Precio unitario sin IVA	Precio total
Generación			
Panel solar de 340W Policristalino EcoGreen	9	COP 434 000	COP 3 906 000
Medidor bidireccional 208/120VAC MT174-D2	1	COP 347 990	COP 347 990
Inversor Huawei SUN2000-6KTL 6kW	1	COP 6 641 791	COP 6 641 791
Cableado			
Cable 4MM2 CUSN ENERGYFLEX XLPE 1KV90C HFFR NE (3m*2 cables)	6	COP 6900	COP 41 400
Cable 12 AWG cable desnudo puesta a Tierra (3m*cable)	3	COP 1685	COP 5055
10 AWG MULTIFLEX PVC/NY/600V90C TT (8m*3 cables)	6	COP 5440	COP 32 640

Estructura			
Estructura cubierta metálica 2 paneles	5	COP 283 147	COP 1 415 735
Soporte triángulo angular de aluminio anodizado para paneles solares	6	COP 50 919	COP 305 514
Subtotal depreciable			COP 13 294 044
Mano de obra			
Técnico o tecnólogo en electricidad / instalación paneles solares / conteo (*1*3 jornales)	3	COP 59 323	COP 177 969
Valor total de la inversión			COP 13 472 012

Fuente: autores.

Metodología para el cálculo del ahorro económico en sistemas fotovoltaicos

La evaluación anual del consumo energético de la vivienda, detallada en la tabla 3, contempla las tarifas energéticas con un incremento anual proyectado del 15,3 % y 979 18 COP/kWh (17,18).

Ya que el sistema fotovoltaico permite el autoabastecimiento eléctrico de la vivienda mediante la inyección a la red, compensando el consumo nocturno, estos valores representan el beneficio económico. Se genera la proyección acumulada para los próximos 25 años, presentada en la tabla 11, para visualizar el retorno de la inversión a través del ahorro anual progresivo y acumulado de COP 675 037 071.

Tabla 11. Ahorro anual progresivo y acumulado

Año	Ahorro anual	Ahorro acumulado	
1	COP 3 025 705	COP 3 025 705	Consumo: 2680 KWh/año
2	COP 3 488 683	COP 6 514 344	Incremento anual: 15,3 %
3	COP 4 022 400	COP 10 536 744	Tarifa de energía hasta diciembre 2023: COP 979
4	COP 4 637 827	COP 15 174 344	Pago en factura 2023: COP 2 646 202
5	COP 5 347 415	COP 20 521 986	

6	COP 6 165 569	COP 26 687 555	
7	COP 7 108 901	COP 33 796 456	
8	COP 8,196,563	COP 41,993,019	
9	COP 9,450,637	COP 51,443,656	
10	COP 10,896,585	COP 62,340,241	
11	COP 12,563,762	COP 74,904,003	
12	COP 14,486,018	COP 89,390,021	
13	COP 16,702,379	COP 106,092,400	
14	COP 19,257,842	COP 125,350,242	
15	COP 22,204,292	COP 147,554,534	
16	COP 25,601,549	COP 173,156,084	
17	COP 29,516,858	COP 202,674,615	
18	COP 34,034,930	COP 236,709,600	
19	COP 39,242,274	COP 275,951,874	
20	COP 45,246,342	COP 321,198,216	
21	COP 52,169,032	COP 373,367,248	
22	COP 60,150,901	COP 433,518,142	
23	COP 69,353,981	COP 502,872,124	
24	COP 79,965,140	COP 582,837,264	
25	COP 92,199,807	COP 675,037,071	

Fuente: autores.

Metodología para el cálculo de costos de operación y depreciación del sistema fotovoltaico

El costo de operación y mantenimiento corresponde al 1 % del valor estructurar del sistema fotovoltaico de la tabla 11 (19). Inversión inicial COP 13 294 044 para el primer año para los siguientes 24 años faltantes. por cada año se deprecia un 2,73 % hasta un 50 % en 25 años, como se muestra en la tabla 12.

La operación y mantenimiento del sistema fotovoltaico durante el periodo de evaluación de 25 años contempla las variaciones del mercado, las cuales se cuantifican mediante el IPC establecido en 1,09 % como se detalla en la tabla 12.

Para conocer cuánto se deprecia cada año, se tomó el TD de COP 13 294 044 mostrado en la tabla 10, un VR siendo COP 6 647 022, sacando el 50 %, que es el valor despreciable (VD) y una evaluación de 25 años.

Tabla 12. costos de operación y depreciación

Año	Costo anual O&M	Depreciación anual	Depreciación acumulada	Valor neto	
1	COP 132 940	COP 363 526	COP 363 526	COP 12 930 518 Valor depreciable	COP 13 294 044
2	COP 134 269	COP 353 688	COP 717 112	COP 12 576 832 Valor residual	COP 6 647 022
3	COP 135 588	COP 343 917	COP 1 061 029	COP 12 233 015 Años de vida útil	25
4	COP 136 908	COP 333 511	COP 1 395 541	COP 11 898 503 % OyM	1,0 %
5	COP 138 232	COP 325 365	COP 1 720 907	COP 11 573 137 TD	2,73 %
6	COP 139 557	COP 307 375	COP 2 037 375	COP 11 256 669 Porcentaje valor residual	50 %
7	COP 140 875	COP 307 814	COP 2 345 189	COP 10 949 855 IPC	1,09 %
8	COP 142 197	COP 290 607	COP 2 635 796	COP 10 649 448	
9	COP 143 524	COP 291 210	COP 2 927 006	COP 10 358 238	
10	COP 144 855	COP 283 247	COP 3 210 253	COP 10 075 001	
11	COP 146 185	COP 283 264	COP 3 493 446	COP 9 791 532	
12	COP 147 514	COP 267 960	COP 3 761 406	COP 9 523 572	
13	COP 148 846	COP 267 968	COP 4 029 374	COP 9 255 604	
14	COP 150 177	COP 253 513	COP 4 282 887	COP 9 002 091	
15	COP 151 410	COP 253 531	COP 4 536 418	COP 8 748 560	
16	COP 152 745	COP 240 824	COP 4 777 243	COP 8 507 735	
17	COP 154 074	COP 240 843	COP 5 018 086	COP 8 266 892	
18	COP 155 405	COP 226 990	COP 5 245 076	COP 8 039 902	
19	COP 156 141	COP 226 998	COP 5 472 074	COP 7 812 904	
20	COP 157 482	COP 214 661	COP 5 686 735	COP 7 598 243	
21	COP 158 827	COP 214 669	COP 5 901 404	COP 7 383 574	
22	COP 160 177	COP 202 663	COP 6 104 067	COP 7 180 911	
23	COP 161 531	COP 202 671	COP 6 306 738	COP 6 978 240	
24	COP 162 888	COP 186 873	COP 6 493 611	COP 6 791 367	
25	COP 172 446	COP 186 873	COP 6 647 022	COP 6 647 022	



Figura 11. Tablero de conexiones

Fuente: autores.

Flujo de caja

El flujo de caja constituye un instrumento financiero fundamental que permite cuantificar y analizar sistemáticamente los ingresos y egresos generados durante la implementación y operación del sistema fotovoltaico.

Tabla 13. Flujo de caja

Año	Ingresos Ahorro anual	Gasto Costo anual	Gasto Depreciación anual	Flujo de caja
1	COP 3 025 705	COP 132 940	COP 363 526	COP 2 529 239
2	COP 3 488 638	COP 134 269	COP 353 688	COP 3 000 681
3	COP 4 022 400	COP 135 588	COP 343 917	COP 3 542 895
4	COP 4 637 827	COP 136 908	COP 333 511	COP 4 167 409
5	COP 5 347 415	COP 138 232	COP 325 365	COP 4 883 817
6	COP 6 155 901	COP 139 557	COP 307 375	COP 5 709 969
7	COP 7 081 566	COP 140 875	COP 307 814	COP 6 632 877
8	COP 8 145 905	COP 142 197	COP 290 607	COP 7 713 101

9	COP 9 450 563	COP 143 524	COP 291 210	COP 9 015 829
10	COP 10 938 762	COP 144 855	COP 283 247	COP 10 510 660
11	COP 12 646 016	COP 146 185	COP 283 264	COP 12 216 567
12	COP 14 601 638	COP 147 514	COP 267 960	COP 14 186 165
13	COP 16 838 437	COP 148 846	COP 267 968	COP 16 421 623
14	COP 19 392 091	COP 150 177	COP 253 513	COP 18 988 401
15	COP 22 302 922	COP 151 410	COP 253 531	COP 21 897 981
16	COP 25 615 107	COP 152 745	COP 240 824	COP 25 221 538
17	COP 29 377 970	COP 154 074	COP 240 843	COP 28 983 053
18	COP 33 646 124	COP 155 405	COP 226 990	COP 33 263 729
19	COP 38 480 265	COP 156 141	COP 226 998	COP 38 097 126
20	COP 43 946 481	COP 157 482	COP 214 661	COP 43 574 338
21	COP 50 116 140	COP 158 827	COP 214 669	COP 49 742 644
22	COP 57 066 707	COP 160 177	COP 202 663	COP 56 703 867
23	COP 64 881 846	COP 161 531	COP 202 671	COP 64 517 644
24	COP 73 652 760	COP 162 888	COP 186 873	COP 73 303 000
25	COP 92 199 807	COP 172 446	COP 186 873	COP 91 840 487

Fuente: autores.

Evaluación de la inversión

De acuerdo con la figura 12, la ganancia obtenida de flujo de caja del sistema fotovoltaico tendrá ganancias a partir del quito año con COP 4 639 715. Para analizar, si realizar el proyecto es aconsejable o no, se recurrió a índices como el VPN y TIR. El primero, aplicado al análisis del flujo de caja, permite determinar que, incluso bajo condiciones de alto riesgo, el valor actual neto del proyecto alcanza COP 80 814 521, cifra que demuestra una excelente rentabilidad de la inversión.

Comparación en reducción de gases en árboles

En la resolución de emisiones de gases de efecto invernadero se usa el factor 0,112 ton CO₂ eq/MWh (14), lo que arroja como resultado 300.16 kg CO₂, como se muestra en la tabla 14.

Tabla 14. Reducción de emisiones

2680 kWh/año	0.112	300.16 kg CO ₂
Consumo Anual	Ton CO ₂ EQ/mwH	Ahorro CO₂

Fuente: autores.

	PERIODO	FLUJO DE CAJA	SALDO
Tasa de Descuento K (EA)	0	-COP 13,472,012	
	1	COP 2,529,239	-COP 10,942,773
	2	COP 3,000,663	-COP 7,942,110
	3	COP 3,542,629	-COP 4,399,482
	4	COP 4,165,980	-COP 233,502
	5	COP 4,883,217	COP 4,649,715
	6	COP 5,708,756	COP 10,358,471
	7	COP 6,659,212	COP 17,017,683
	8	COP 7,753,745	COP 24,771,428
	9	COP 9,014,442	COP 33,785,870
	10	COP 10,466,773	COP 44,252,643
	11	COP 12,140,098	COP 56,392,741
	12	COP 14,068,272	COP 70,461,013
	13	COP 16,290,328	COP 86,751,341
	14	COP 18,851,269	COP 105,602,610
	15	COP 21,802,983	COP 127,405,592
	16	COP 25,205,296	COP 152,610,888
	17	COP 29,127,186	COP 181,738,074
	18	COP 33,648,185	COP 215,386,259
	19	COP 38,859,992	COP 254,246,251
	20	COP 44,868,333	COP 299,114,585
	21	COP 51,795,113	COP 350,909,698
	22	COP 59,780,885	COP 410,690,582
	23	COP 68,987,705	COP 479,678,288
	24	COP 79,602,426	COP 559,280,714
	25	COP 91,840,487	COP 651,121,201
	RETORNO DE LA INVERSIÓN - (RI) (AÑOS)		4.0
	VALOR PRESENTE NETO - (VPN)		COP 80,814,521
	TASA INTERNA DE RETORNO - (TIR) (EA)		35.4%

Figura 12. Evaluación de la inversión

Fuente: autores.

Conclusiones

El planteamiento de un diseño fotovoltaico que logró suplir la demanda energética de la vivienda familiar de estrato seis, permitió ubicar los equipos que forman parte del sistema fotovoltaico.

Los paneles solares fueron instalados en el tejado del área de la terraza. La zona seleccionada fue la parte de la vivienda más amplia disponible. Uno de los paneles se dispuso con soportes al lado izquierdo. Este sitio fue seleccionado, ya que está ubicado sobre el tejado de la cocina, con lo cual se evitó construir una terraza al lado derecho y enfrente de la entrada principal. El inversor se ubicó en la zona de la terraza en el cuarto del contador, lo cual facilitó una conexión directa con los paneles solares. La casa fue diseñada por los mismos propietarios, quienes implementaron canales de conexión donde van los cables de energía y cajas abiertas distribuidas por áreas en la casa. Una de estas cajas está ubicada en la terraza, en el área de la escalera, lo que facilita un acceso a la caja de tacos ubicada en la cocina; de esta manera, se evitó realizar más reformas y obras en la casa.

Las proyecciones indican que la instalación del panel solar es excelente inversión que a los 25 años de operación tendrá ganancias por COP 80 814 521 y comenzará a tener beneficios al quinto año de operación.

Al ser una energía alternativa sostenible, genera un ahorro de 300,16 kg CO₂, de esta manera, contribuye con el medioambiente. Aproximadamente un árbol absorbe entre 10 kg y 30 kg (20) al año. Si estimamos un valor intermedio de unos 25 kg al año, esto quiere decir que el ahorro es igual a poseer 12 árboles durante un año.

Financiamiento

El trabajo contó con el apoyo de la Universidad Santo Tomás, que proporcionó el espacio.

Referencias

- [1] A. P. Agudelo, J. M. López-Lezama, y E. Velilla, "Predicción del precio de la electricidad en la bolsa mediante un modelo neuronal no-lineal autorregresivo con entradas exógenas", *Información Tecnológica*, vol. 26, n.º 6, pp. 99–108, 2015, https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-07642015000600012
- [2] D. S. Salinas Rodríguez, "Todo lo que debe saber del nuevo impuesto al alumbrado en Bogotá: ¿cuánto se deberá pagar de más en su factura?", *El Tiempo*, my. 2024. [Internet]. Disponible en <https://acortar.link/NzC9Rq>
- [3] Cedreo, "Software para diseño de planos de casas en 2d y 3d". [Internet]. 2024. Disponible en <https://cedreo.com/es/planos-casas/>
- [4] Jaquete Pastor y P. Paneque Buiza, "Diseño de una instalación fotovoltaica para una planta de reciclaje en Kibera, Nairobi (Kenia)", trabajo final de Máster, Universidad Pontificia de Comillas <http://hdl.handle.net/11531/87369>
- [5] S. Tansing, "Solar tech: new pieces in the energy puzzle", *ReNew: Technology for a Sustainable Future*, n.º 121, pp. 58–59, 2012, <https://www.jstor.org/stable/renetechsustfutu.121.58>
- [6] M. M. S. Céspedes, C. Vásquez, y R. R. Pisco, "Disposición final e impacto ambiental de las celdas fotovoltaicas", *Publicaciones en Ciencias y Tecnología*, vol. 14, n.º 2, pp. 74–90, 2020, <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/7998811.pdf>
- [7] A. M. Apaza Condori *et al.*, "Propuesta de viabilidad para la implementación de un sistema solar fotovoltaico ON-GRID en la Facultad de Ingeniería de la UMSA", 2023, <http://repositorio.umsa.bo/xmlui/handle/123456789/34305>
- [8] A. Ayang, R. Wamkeue, M. Ouhrouche *et al.*, "Least square estimator and IEC-60891 procedure for parameters estimation of single-diode model of photovoltaic generator

- at standard test conditions (STC)", *Electrical Engineering*, vol. 103, pp. 1253-1264, 2021, <https://link.springer.com/article/10.1007/s00202-020-01131-2>
- [9] R. M. Quispe Pérez and D. Sotomayor Condori, "Diseño de un sistema fotovoltaico para suministrar energía eléctrica al caserío Anexo Perlas del Altiplano Juliaca-Puno". Tesis Final de Maestría. Universidad César Vallejo, 2023, <https://hdl.handle.net/20.500.12692/126492>
- [10] M. A. Eltawil, y Z. Zhao, "Grid-connected photovoltaic power systems: Technical and potential problems—a review", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 14, n.º 1, pp. 112-129, 2010, <https://doi.org/10.1016/j.rser.2009.07.015>
- [11] A. J. Atucha, P. Gualdoni, y G. Blanco, "El índice de precios al consumidor y la inflación". [Internet]. 2018. <https://nulan.mdp.edu.ar/id/eprint/2880/1/atucha-et-al-2018.pdf>
- [12] D. Saavedra Cotrina, "Diseño de un sistema fotovoltaico para abastecer parcialmente de energía eléctrica un conjunto residencial ubicado al sur de Bogotá, Colombia", *Tecciencia*, vol. 17, n.º 32, 2022, <https://acortar.link/f0Autj>
- [13] G. B. Currea, *Matemáticas financieras*. Politécnico Grancolombiano, 1998. [En línea]. Disponible en <https://books.google.com.co/books?id=Z56EtgAACAAJ>
- [14] UPME, "Resolución n.º 000705 de 2024: Por la cual se modifica la resolución 000762 de 2023, mediante la cual se actualizó el factor de emisión del sistema interconectado nacional del 2022 para inventarios de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) y proyectos de mitigación de GEI", 2024, https://www1.upme.gov.co/Normatividad/705_2024.pdf
- [15] C. Medina, (2024, noviembre), "Con nuevo decreto de la CREG, ahora los colombianos podrán autogenerar su energía", WRadio.com.co, <https://www.wradio.com.co/2024/11/26/con-nuevo-decreto-de-la-creg-ahora-los-colombianos-podran-autogenerar-su-energia/>
- [16] Emergente, "Panel solar de 340w policristalino ecogreen", 2024, <https://www.emergente.com.co/tienda/panel-solar-de-340w-policristalino-ecogreen>
- [17] Enel S. A., "Tarifas de energía eléctrica (COP/kWh) reguladas por la Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG)", dic. <https://www.enel.com.co/content/dam/enel-co/español/personas/1-17-1/2023/pliego-tarifario-enel-diciembre-15.pdf>
- [18] M. M. Ariza, (2024, septiembre), "Tarifas de energía subieron 15,3 % anual entre 2021 y 2024, la cifra más alta del siglo", LaRepública.co. [Internet]. <https://www.larepublica.co/economia/>

[tarifas-electricas-aumentaron-15-3-anual-entre-2021-y-2024-la-cifra-mas-alta-del-siglo\ -3964636](#)

- [19] M. Renewable, “Evaluación económica de contratos O&M en plantas solares”. [Internet]. *MundoRenovable.org*, dic. 2024. Disponible en <https://mundorenovable.org/contratos-om-plantas-solares/>
- [20] C. Garrett. “¿Cuánto CO₂ absorbe un árbol?”. [Internet]. Nov. 2021. Disponible en ClimateCosulting.com. Disponible en <https://climate.selectra.com/es/actualidad/co2-arbol>

