



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

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

Daniel A. Pérez Salamanca ¹, Deiver Saavedra Cotrina ²,

ABSTRACT

Objective: The objective is to develop an optimized photovoltaic system to meet the total energy demand of a high-end residential home (stratum six) in Bogotá, through a comprehensive analysis of technical and economic requirements. This research presents an integral evaluation encompassing both the technical design of the system and its financial viability. The characterization of energy consumption and specific building conditions serve as fundamental parameters for appropriate system sizing. By focusing on energy self-sufficiency and economic optimization, our purpose is to provide a technically robust and financially viable photovoltaic solution that responds to the specific high-end residential consumption needs in Bogotá's urban context.

Methodology: The design of a photovoltaic system begins with characterizing the home's energy consumption and analyzing the site's technical conditions. Subsequently, the system components are dimensioned, including the selection of solar panels, inverter, protection systems, and wiring, considering current technical specifications and regulations. The economic analysis includes quantifying the initial investment, projecting energy savings, operating costs, and cash flows to determine profitability indicators such as VPN and TIR.

Resulta: The experimental methodology involved using the bills to determine the household's energy requirements. Among them, the need for nine Ecogreen 340 W polycrystalline solar panels was established, along with a Huawei three-phase inverter. The total system investment reached \$ 13,473,012. This system proved to be highly profitable, generating significant gains from the fifth year onwards, with a VPN of \$ 80,814,521 and an TIR of 35.4 %. Through meticulous implementation, a positive environmental impact was achieved, reaching an emission reduction of 0.30016 tons of CO_2 .

Conclusions: The solar panel implementation was carried out through a design that optimally utilizes the available free spaces in the house. The photovoltaic system demonstrated high profitability, evidenced by a significant difference of 23.4

¹Ingeniero Ambiental, Universidad Santo Tomás.

Email: perezdaniel0326@gmail.com

²Docente 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: deiversc@gmail.com

percentage points between the Internal Rate of Return (TIR) and the discount rate. This notable difference confirms that the project is not only financially viable but offers returns considerably higher than the minimum required to offset investment risk. The 25-year projected evaluation shows promising results, with gains materializing from the fifth year of operation and reaching a Net Present Value (NPV) of \$ 80,814,521 at the end of the evaluation period.

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

RESUMEN

Objetivo: Es desarrollar un sistema fotovoltaico optimizado para satisfacer la demanda energética total de una vivienda residencial de estrato seis en Bogotá, mediante un análisis exhaustivo de los requerimientos técnicos y económicos. esta investigación presenta una evaluación integral que abarca tanto el diseño técnico del sistema como su viabilidad financiera. La caracterización del consumo energético y las condiciones específicas de la edificación sirven como parámetros fundamentales para el dimensionamiento apropiado del sistema, al centrarnos en la autosuficiencia energética y la optimización económica, nuestro propósito es proporcionar una solución fotovoltaica técnicamente robusta y financieramente viable que responda a las necesidades específicas de consumo residencial de alto estrato en el contexto urbano de Bogotá.

Metodología: El planteamiento de un sistema fotovoltaico comienza con la caracterización del consumo energético de la vivienda y el análisis de las condiciones técnicas del sitio. Posteriormente, se procede al dimensionamiento de los componentes del sistema, incluyendo la selección de paneles solares, inversor, sistema de protecciones y cableado, considerando las especificaciones técnicas. El análisis económico contempla la cuantificación de la inversión inicial, la proyección de ahorros energéticos, costos operativos y flujos de caja para determinar indicadores de rentabilidad como VPN y TIR.

Resultados: La metodología experimental implicó la utilización de las facturas para determinar los requerimientos energéticos de la vivienda. Entre ellos, se estableció la necesidad de nueve paneles solares policristalinos Ecogreen de 340 W, junto con un inversor trifásico Huawei. La inversión total del sistema alcanzó los \$13,473,012. Este sistema demostró ser rentable, generando ganancias significativas a partir del quinto año, con un VPN de \$80,814,521 y una TIR del 35.4%. A través de una implementación meticulosa, se logró un impacto ambiental positivo, alcanzando una reducción de emisiones de 0.30016 toneladas de CO_2 .

Conclusiones: La implementación de los paneles solares se realizó mediante un diseño que aprovecha óptimamente los espacios libres disponibles en la vivienda. El sistema fotovoltaico demostró rentabilidad, evidenciada por una diferencia significativa de 23.4 puntos porcentuales entre la TIR y la tasa de descuento. Esta notable diferencia confirma que el proyecto no solo es financieramente viable, sino que ofrece un rendimiento considerablemente superior al mínimo requerido para compensar el riesgo de inversión. La evaluación proyectada a 25 años muestra resultados prometedores, con ganancias que se materializan a partir del quinto año de funcionamiento y alcanzan un Valor Presente Neto (VPN) de \$80,814,521 al término del período de evaluación.

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

INTRODUCCIÓN

El sistema energético colombiano evidencia una marcada dependencia de la generación hidráulica, la cual representa aproximadamente el 65% de la producción energética nacional, esta caracterís-

tica provoca que el mercado eléctrico sea particularmente vulnerable a los efectos del Fenómeno de El Niño, consecuentemente aumenta la dependencia de la generación térmica, terminando en un aumento en los precios de la energía en bolsa, como en los contratos a largo plazo de distribución (1,2).

En Bogotá conocemos que hay impuesto al alumbrado público; se aplica al cobro del servicio público de energía eléctrica, del 5 % para el estrato cuatro residenciales, el 6 % para el estrato cinco y el 7 % para el estrato seis (3,4). Estas tarifas elevan los costos eléctricos de estas viviendas, sabiendo que estos estratos son los que consumen más energía (5). Para ayudar a la economía de las familias de estos estratos socioeconómicos, así como al medioambiente, considerando que ya existen métodos más amigables con este, los cuales pueden contribuir a disminuir la dependencia total de la energía eléctrica, siendo esta suplida por tecnologías como los paneles solares, lo que ayuda a prevenir altos consumos de la red.

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

La investigación tiene como propósito desarrollar una propuesta para la implementación de paneles solares en área residenciales, evaluando su factibilidad como fuente principal de consumo doméstico de energía, para ello se plantea un modelo que analiza la demanda energética de una vivienda estrato seis. Esta se ubica en la vereda Suba Naranjos, localizada en el antiguo camino de Suba, y contempla la planificación necesaria de los equipos e infraestructura para este tipo de instalación. Asimismo, se aborda la gestión inicial y los costos operacionales asociados, con el fin de realizar una evaluación de la viabilidad del proyecto. Finalmente, el estudio incluye un análisis del retorno de inversión y de los ahorros estimados en emisiones de CO₂.

MARCO CONCEPTUAL

Conceptos Sistema fotovoltaico

Mes Más Desfavorable

Se hace referencia al período del año en el que la generación de energía fotovoltaica alcanza su punto más bajo, debido a la combinación de diversos factores ambientales y astronómicos adversos (6).

Horas Solar de Pico (o de Punta)

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 1 hora solar pico (HSP), se refiere a la energía recibida por una radiación de 1000 W/m^2 durante 1 hora (6).

Los Paneles

El efecto fotovoltaico fue descubierto en 1839 por el científico Edmond Becquerel, Posteriormente, en 1953, se registra un avance significativo cuando los investigadores Chapin, Fuller y Pearson, pertenecientes a Bell Laboratories, desarrollaron la primera célula solar fotovoltaica de silicio sólido, alcanzando una eficiencia del 4% (7). En la actualidad, las células solares fotovoltaicas de silicio convencionales presentan niveles de eficiencia que oscilan entre el 13% y el 16% (7,8).

La tecnología de paneles solares mantiene una estructura básica análoga a la de células solares cristalinas convencionales, diferenciándose por su capacidad de aprovechar un espectro cromático más amplio para la generación eléctrica (7). Las células solares de silicio cristalino ofrecen opciones que 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 con llevar una ligera disminución en su eficiencia de conversión de energía (7).

Los paneles de silicio policristalino pueden reciclar un 96% de sus materiales (8,9). Implementar materiales reciclados en un panel solar ayuda a disminuir el consumo de energía en la manufactura en un 50% (9).

El Inversor

La interconexión de sistemas fotovoltaicos a la red eléctrica se realiza mediante un inversor, el cual cumple la función de transformar la energía de corriente continua (CC) generada por los módulos fotovoltaicos en energía de corriente alterna (CA), misma que resulta utilizable para el suministro energético a dispositivos eléctricos (10). Existen dos tipos de inversores trifásicos y monofásicos difieren, principalmente en su configuración de conexión eléctrica; mientras el inversor monofásico se conecta a un único circuito de fase, ideal para instalaciones residenciales pequeñas, el inversor trifásico distribuye la carga eléctrica en tres fases simultáneas, proporcionando mayor estabilidad, eficiencia y capacidad de potencia, siendo más adecuado para sistemas fotovoltaicos con mayores requerimientos energéticos o instalaciones comerciales e industriales.

Conceptos Economicos

El Índice de Precios al Consumidor (IPC)

El Índice de Precios al Consumidor (IPC) que establece como un indicador económico que mide las variaciones promedio en los precios de una canasta básica representativa de bienes y servicios en la economía siendo un instrumento de medición para la economía, permitiendo analizar la evolución de los precios en un período determinado en comparación con un período base un índice mayor denota menor mayor costo en los mismos servicios (11).

La Depreciación

La depreciación de productos es un concepto contable que se refiere a la disminución del valor de un bien a lo largo de su vida útil (12).

Ahorro de CO₂ de un Arbol

Aproximadamente un árbol absorbe entre 10 kg y 30 kg (13) al año.

METODOLOGÍA

La implementación del sistema fotovoltaico se inicia mediante la identificación de una vivienda familiar de estrato seis en la ciudad de Bogotá, seleccionada específicamente por sus altos índices de consumo energético y sus costosos servicios públicos (5). Su procedimiento técnico requiere un análisis de los patrones de consumo eléctrico y una evaluación integral de la estructura arquitectónica del inmueble.

La instalación del sistema tiene elementos fundamentales; los paneles solares, el inversor y el medidor bidireccional, disponiéndolos estratégicamente en la estructura de la vivienda residencial, considerando factores como la orientación solar óptima, la capacidad estructural y las rutas de cableado.

En los datos históricos de consumo energético, información que determina el dimensionamiento adecuado del sistema fotovoltaico manteniendo la integridad estructural de la vivienda, optimiza la generación de energía solar y asegura una integración con el sistema eléctrico existente, la disposición de los componentes se realiza sin comprometer la funcionalidad ni el ambiente residencial, cumpliendo con los estándares técnicos requeridos para una operación sostenible y eficiente, en la implantación de un sistema fotovoltaico.

Metodología para determinar el consumo de energía en una vivienda residencial

Se recolectaron datos acerca del uso mensual de electricidad en una vivienda familiar de estrato seis, basándose en los recibos de luz correspondientes al periodo comprendido entre enero y diciembre del dos mil veintitrés. 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 del año, hay meses que no presentan registro corresponden a la pérdida de la factura. Aunque el consumo es conocido por otras facturas, en estos casos se utilizan los días calendario como referencia para todos los meses.

Diseño de la estructura arquitectónica de la vivienda

La vivienda está ubicada en un conjunto por la calle 137D con carrera 76 A en Suba, zona conocida también como antiguo camino 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 (14).

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 se conocen como el número medio de horas solares pico por día en cada mes del año. (6).

Para calcular el mes más desfavorable, calculó el consumo diario total por cada mes. Tuvo un factor de seguridad del 25 %, posteriormente calculamos los siguientes factores (Ed, Edr, Aporte Mes) Para ello, se utilizaron las siguientes fórmulas.

El consumo diario total determina cuánto consume de energía la vivienda al día (Ed) en kilowatts hora día 'kWh/día'. Para los cuales consideraremos el consumo mes (Em) en kilowatts 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. Lo cual consideramos 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. Lo cual consideraremos 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

Para la selección de los paneles se consideró, P_{max} es la potencia máxima, donde (V_{nom}) es el voltaje nominal, donde (V_{oc}) es el voltaje en circuito abierto, donde (V_{mp}) es el voltaje máximo potencial, donde (I_{mp}) es la intensidad máxima potencial, donde (I_{sc}) es la intensidad de cortocircuito (15).

Las terminaciones STC (Standart Test Conditions), correspondientes a las condiciones de laboratorio, que representan el máximo rendimiento ideal, y NOCT (Nominal Operating Cell Temperature), que representan condiciones más próximas a la operación real bajo un entorno exterior (15).

Para calcular el número de paneles que necesita (N_t) 'Adim'. Donde (Lmd) es el consumo medios diarios 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 (16).

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

Elección del Inversor

En el diseño e implementación de sistemas fotovoltaicos, resulta fundamental identificar correctamente si el inversor requerido es monofásico o trifásico, por medio del contador, ya que esta elección debe ser coherente con la configuración eléctrica de la instalación receptor. Un inversor inadecuado en este aspecto puede generar incompatibilidades técnicas, pérdidas de eficiencia energética e incluso impedir la conexión del sistema a la red.

Cálculo de costos de operación y depreciación del sistema fotovoltaico

Se considera un valor del uno por ciento sobre el valor depreciable para las labores de operación y mantenimiento.

Para conocer cuánto se deprecia cada año (TD), conocida como tasa depreciación, la selección un Valor Residual (VR), sacado el 50 %, que es el valor despreciable (VD) y los números de periodos esto lo que indica que al final de la vida útil el 50 % del valor de los componentes despreciables aún se mantendrá (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, donde $VPN > 0$ hay más ingresos y si $VPN < 0$ hay más egreso (17). Se incorpora una tasa de descuento del 12%, seleccionada estratégicamente para reflejar un nivel de riesgo significativo en la inversión.

La tasa interna de retorno TIR es otro indicador de rentabilidad de una inversión comúnmente usado en lo público; en este caso, descompone los flujos de forma tal que los ingresos y egresos son iguales, desde el punto de vista matemático (17).

Reducción de gases de Efecto Invernadero del sistema fotovoltaico

En la Resolución No. 000705 de 2024 se establece la realización de diagnósticos y estudios destinados a formular planes y programas orientados a fortalecer el aporte del sector minero-energético a la economía y a la sociedad, en un marco de sostenibilidad (18, 19).

RESULTADOS

Consumo de energía en la vivienda residencial

Tabla 1. Consumo vivienda estrato seis por meses

Meses	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Días Facturados	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
Consumo mes (kW h)	279.00	261.00	246.00	260.00	269.00	177.00	194.00	193.00	168.00	165.00	202.00	266.00
Valor mes (kW h)	\$244,790.00	\$ 232,670.00	-	-	-	\$ 168,420.00	\$185,950.00	\$ 186,230.00	\$ 164,540.00	\$ 162,930.00	\$203,200.00	\$ 230,900.00

Fuente: Autores.

Evaluación integral de la estructura arquitectónica de la vivienda

La vivienda residencial se distribuye en tres niveles y una terraza superior.

En la primera planta esta la cocina, tiene el tablero principal de distribución eléctrica para toda la vivienda, como se muestra en la Figura 1.

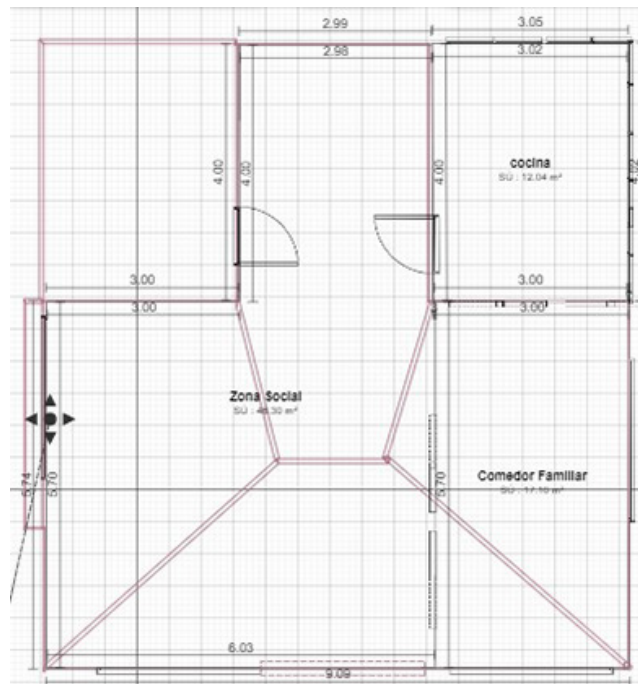


Figure 1. Primera planta de la vivienda familiar Escala 1:50

Fuente: Autores.

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 2. Esta área consta de un techo de 12 m² en su disponible y designada para la instalación de los paneles solares. En el techo se encuentra un sistema de calefacción por tanque y presenta una inclinación con orientación norte, características relevante ya que se elige la Irradiancia solar efectiva recibida en una superficie inclinada con un ángulo igual a la latitud del sitio del sistema fotovoltaico como se muestra en la figura 3.

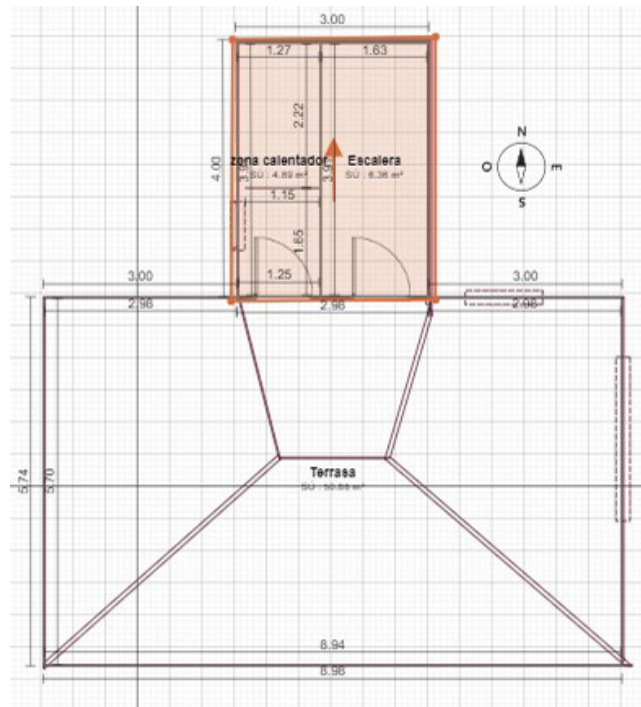


Figure 2. Tercera planta de la vivienda familiar Escala 1:50

Fuente: Autores.

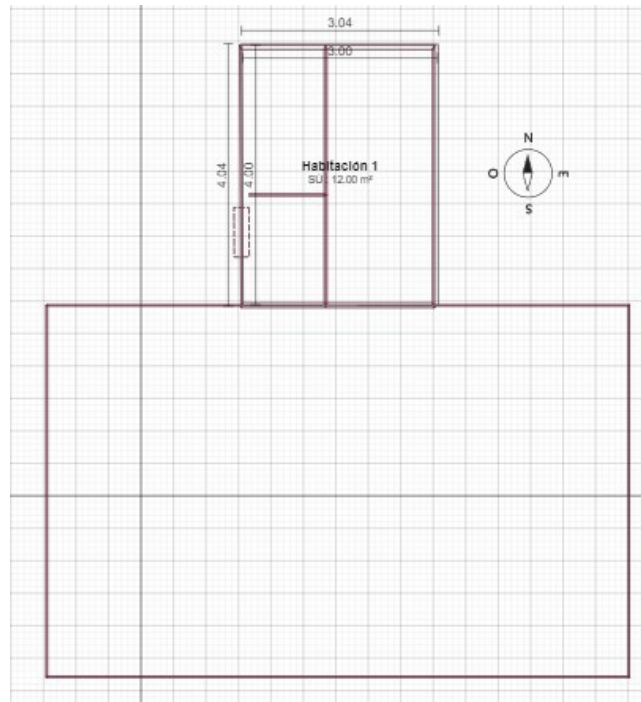


Figure 3. Tercera planta de la vivienda familiar Escala 1:50

Fuente: Autores.

Determinación del mes más desfavorable

Se consideró una superficie con inclinación negativa de 15 grados. La selección de estos parámetros de irradiación responde a las características estructurales de la cubierta, la cual presenta una orientación hacia el norte y una disposición no horizontal, factores determinantes para la eficiencia del sistema fotovoltaico. En la siguiente Tabla 2. se presenta un cuadro descriptivo que detalla los aportes mensuales, cuyo propósito es facilitar la identificación del mes considerado como el más favorable para el sistema de generación energética.

Tabla 2. Determinación del mes más desfavorable

Meses	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
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.

La tabla 2 permite establecer que Enero representa el mes más desfavorable del período, al registrar un coeficiente de aporte de 0.3939, siendo este el valor más debajo de todos los meses.

Elección del Panel Solar

Se seleccionó el panel policristalino por un análisis comparativo de eficiencia y costos, si bien los paneles monocristalinos presentan una eficiencia superior, oscilando entre de 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, siendo entre 5 y 7 veces más económico resultando 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 adicionalmente, estos paneles presentan una disposición final menos perjudicial para el medioambiente, con un índice de reciclabilidad del 96 % (8). Como se muestra en la Tabla 3.

Tabla 3. Comparativa de las características de las celdas solares cristalinas de silicio

Característica	Policristalinas	Monocristalinas
Costos	De 5 a 7 por ciento más baratas que las monocristalinas	De 5 a 7 por ciento 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: (7,8,20).

El panel solar seleccionado es de panel solar de 340 W policristalino EcoGreen con las presentes especificaciones mostradas en la Tabla 4.

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: (21)

Con base en la ecuación 4, se determinó que se requieren nueve paneles, cuyos módulos presentan las características que se muestran en la tabla.5.

Tabla 5. Tabla 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.

En el diseño de la instalación del conjunto de paneles solares, conocido como diseño de strings, se pusieron nueve paneles en serie, quedando una columna en paralelo proporcionada en conjunto con los siguientes aportes 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.

Determinación de la ubicación de Paneles Fotovoltaicos

En la selección de la ubicación de los paneles fotovoltaicos, se establece en la cubierta de la terraza, un espacio disponible sin perjudicar lo visual, como se muestra en la figura 3, siguiendo la configuración estructural del tejado vista en la figura 4, La disposición contemplará 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 5, el lugar fue seleccionado por encontrarse apartado de la entrada y de la terraza.



Figure 4. Techo de la vivienda familiar

Fuente: Autores.

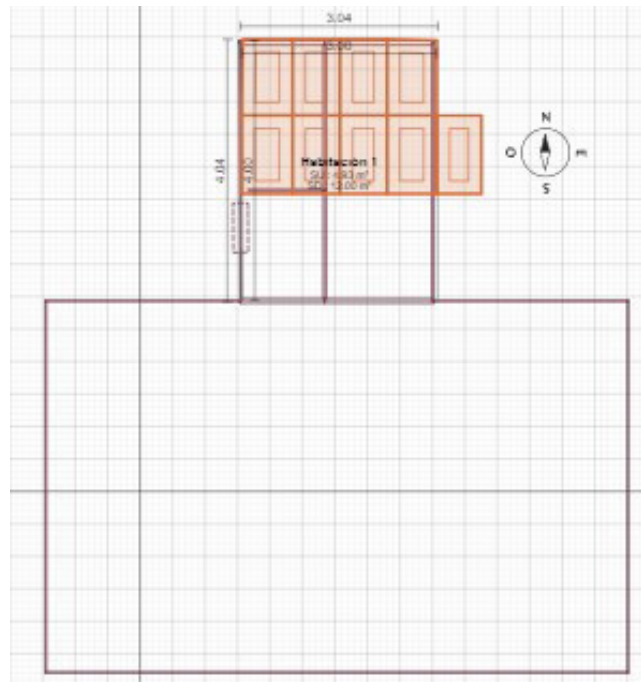


Figure 5. Techo con paneles de la vivienda familiar Escala 1:50

Fuente: Autores.

Elección del Inversor

Se identificó que las conexiones al sistema eléctrico son trifásicas. Conociendo las especificaciones de los consumos y los detalles del panel solar, se generó una tabla 8 que muestra los requerimientos mínimos del inversor trifásico.

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 9 paneles de 345 W en serie conectados al MPPT1 6 que suple la capacidad del inversor de 9000 W, adicionalmente la tensión de operación de 419 V en la 'Tabla 6' está dentro del rango MPPT (100 V-560 V), con suficiente margen respecto a la tensión má-

xima 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 18A 'Tabla 8', la capacidad máxima del inversor de 9000 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.

Determinación de la ubicación del Inversor

La ubicación del inversor es en la terraza mostrada en la figura 2 ubicado en el cuarto que está ubicado el calentador, permitiendo mejor accesibilidad a los paneles y menor cantidad de cable.

Metodología para instalación de cableado

La instalación del cableado usando (XLPE-EPR) 90 °C, seleccionada por su favorable relación 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 una tensión de 345 V, limitando la caída de tensión al 3 %. Para el tramo que conecta el inversor con el tablero de distribución, tiene una distancia de 8 metros y una intensidad prevista de 27A 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 1.

Tabla 9. Cálculo de sección cableada

TRAMO	L (m)	I (A)	Cos ϕ	ΔU (V)	$Y\theta$ (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 que conecta todas las conexiones eléctricas con el tablero principal; uno de ellos está ubicado en la escalera de la terraza, Figura 2, específicamente se ve un ducto en dicha zona, visible en la Figura 6, que permitirá la conexión del inversor al panel eléctrico situado en la cocina Figura 1, como se muestra en la Figura 7.

Este diseño de la instalación aprovecha la infraestructura preexistente de la edificación, minimizando la necesidad de trabajos de adaptación y optimizando los costos de implementación.



Figure 6. Caja de cableado

Fuente: Autores.



Figure 7. Tablero de conexiones

Fuente: Autores.

Evaluación Económica de Sistemas Fotovoltaicos

Este proceso analiza los factores económicos que se generan al implementar un sistema fotovoltaico. Se debe tener en cuenta una inversión inicial, este valor es de único y no se repetirá a diferencia de los costos operacionales que se mantienen constantes, el análisis económico que permitirá conocer en que punto el sistema comenzaría a ser viable, caracterizando la pérdida del valor de la instalación y las ganancias que se van acumulando año a año.

Inversión inicial

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 6,900	COP 41,400
Cable 12 AWG Cable Desnudo Puesta a Tierra (3m*cable)	3	COP 1,685	COP 5,055
10 AWG MULTIFLEX PVC/NY/600V90C TT (8m*3 cables)	6	COP 5,440	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.

Cálculo del Ahorro Económico en Sistemas Fotovoltaicos

La evaluación anual del consumo energético de la vivienda, detallada en la Tabla 1, contempla las tarifas energéticas con un incremento anual proyectado del 15.3 % y 979.18 \$/kWh (22,23).

Considerando que el sistema fotovoltaico garantizará la autonomía energética total de la vivienda

familiar, estos valores representan el beneficio económico directo de la implementación o ingresos, la proyección acumulada de los próximos 25 años presentada en la tabla subsiguiente permite visualizar el retorno de la inversión mediante el análisis del ahorro anual progresivo y acumulado de \$ 177,596,756.

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.

Cálculo de costos de operación y depreciación del Sistema Fotovoltaico

El costo de operación y mantenimiento corresponde al 1 % del valor estructura del sistema fotovoltaico de la tabla 10. Inversión inicial \$ 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 período de evaluación de 25 años contempla las variaciones del mercado, las cuales se cuantifican mediante el IPC establecido en

un 1.09 % como se muestra en la tabla 12.

Para conocer cuánto se deprecia cada año, se tomó el TD de \$13.294.044 mostrado en la tabla 10, un VR siendo \$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		

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	GASTO		FLUJO DE CAJA
	AHORRO ANUAL	COSTO ANUALL	DEPRECIACIÓN ANUAL	
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

Como se muestra en la Figura 8, la ganancia obtenida de flujo de caja del sistema fotovoltaico tendrán ganancias a partir del quinto año con \$ 4,639,715. Para analizar, si es bueno realizar el proyecto o no es aconsejable, utilizamos índices como el VPN y TIR. El VPN aplicado al análisis del flujo de caja, permite determinar que, incluso bajo condiciones de alto riesgo, el valor actual neto del proyecto alcanza \$ 80,814,521, cifra que demuestra una excelente rentabilidad de la inversión.

	PERIODO	FLUJO DE CAJA	SALDO
Tasa de Descuento K (EA)	12.0%	0	-COP 13,472,012
	recuperar	1	COP 2,529,239
		2	COP 3,000,663
		3	COP 3,542,629
		4	COP 4,165,980
	Ganancia	5	COP 4,883,217
		6	COP 5,708,756
		7	COP 6,659,212
		8	COP 7,753,745
		9	COP 9,014,442
		10	COP 10,466,773
		11	COP 12,140,098
		12	COP 14,068,272
		13	COP 16,290,328
		14	COP 18,851,269
		15	COP 21,802,983
		16	COP 25,205,296
		17	COP 29,127,186
		18	COP 33,648,185
		19	COP 38,859,992
		20	COP 44,868,333
		21	COP 51,795,113
		22	COP 59,780,885
		23	COP 68,987,705
		24	COP 79,602,426
	25	COP 91,840,487	
			-COP 10,942,773
			-COP 7,942,110
			-COP 4,399,482
			-COP 233,502
			COP 4,649,715
			COP 10,358,471
			COP 17,017,683
			COP 24,771,428
			COP 33,785,870
			COP 44,252,643
			COP 56,392,741
			COP 70,461,013
			COP 86,751,341
			COP 105,602,610
			COP 127,405,592
			COP 152,610,888
			COP 181,738,074
			COP 215,386,259
			COP 254,246,251
			COP 299,114,585
			COP 350,909,698
			COP 410,690,582
			COP 479,678,288
			COP 559,280,714
			COP 651,121,201
			4.0
			COP 80,814,521
			35.4%

Figure 8. Evaluación de la inversión

Fuente: Autor.

Comparación en reducción de gases en Árboles

En la resolución de emisiones de gases de efecto invernadero se usa el factor 0.112 ton CO_2 eq/MWh, dando 300.16 kg CO_2 como se muestra en la tabla.

Tabla 14. Reducción de emisiones.

2680 kWh/año	0.112	300.16 kg CO_2
Consumo Anual	Ton CO_2 EQ/mwH	Ahorro CO_2

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 se instalaron en el tejado de la zona de la terraza. La zona seleccionada es la zona de vivienda más amplia que hay. Uno de los paneles está ubicado con soportes al lado izquierdo.

Este sitio fue seleccionado, ya que está ubicado sobre el tejado de la cocina, evitando construir la terraza que está al lado derecho y enfrente de la entrada principal. El inversor se ubicó en la zona de la terraza en el cuarto del contador, permitiendo una conexión directa con los paneles solares. La casa fue diseñada por los mismos propietarios, los cuales implementaron canales de conexión donde van los cables de energía y cajas abiertas distribuidas por áreas en la casa. Una de esta caja está ubicada en la terraza, en el área de la escalera, permitiendo un acceso fácil acceso caja de tacos ubicada en la cocina, esto evita en obras.

Se comprobó que es una inversión, dentro de los 25 años de operación se ganó \$ 80,814,521 y comenzó a tener beneficios al quinto año de operación.

Al ser una energía alternativa sostenible, genera un ahorro de 300.16 kg CO_2 contribuyendo al medioambiente. Aproximadamente un árbol absorbe entre 10 kg y 30 kg 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.

Esta vivienda cuenta con una zona social, una cocina y un cuarto destinado al comedor, además de seis dormitorios y, en el exterior, faroles que iluminan la hacienda. El uso de la vivienda corresponde a una jornada laboral de ocho horas por parte de los miembros de la familia, sin permanencia durante la semana y con ocupación únicamente los fines de semana. Ahora bien esta investigación aporta información valiosa sobre la instalación de un sistema fotovoltaico, el sistema no es directamente aplicable a otras viviendas, ya que la incidencia solar no es igual en todos los casos. Sin embargo, la conexión trifásica puede tomarse como referencia, utilizando los mismos equipos en viviendas con un consumo similar al registrado en los meses estudiados, para determinar si resultan adecuados.

Aunque este artículo implementa el sistema fotovoltaico únicamente en una vivienda unifamiliar, puede servir como guía para orientar nuevos sistemas fotovoltaicos en otras viviendas o en negocios medianos y pequeños.

FINANCIAMIENTO

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

AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mi sincero agradecimiento a Deiver Saavedra Cotrina por su valiosa colaboración en la implementación de este proyecto. Su compromiso, conocimiento y disposición fueron fundamentales para alcanzar los objetivos establecidos. Su apoyo no solo enriqueció el proceso, sino que también demostró un alto nivel de profesionalismo y dedicación, por lo cual le estoy profundamente agradecido.

REFERENCIAS

- [1] A. P. Agudelo, J. M. López-Lezama, and 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, no. 6, pp. 99–108, 2015, https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-07642015000600012. 3
- [2] M. Adaramola, *Solar Energy: Application, Economics, and Public Perception*. Milton, UNITED KINGDOM: Apple Academic Press, 2014, <http://ebookcentral.proquest.com/lib/bibliotecausta-ebooks/detail.action?docID=1756557>. 3
- [3] 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*, mayo 2024, <https://acortar.link/NzC9Rq>. 3
- [4] S. Grandas Medina. (2024, may) Alcalde galán explica la propuesta de cobro del alumbrado público en bogotá. Publicado en el portal oficial de la Alcaldía de Bogotá <https://bogota.gov.co/mi-ciudad/habitat/alcalde-galan-explica-propuesta-de-cobro-alumbrado-publico-en-bogota>. 3
- [5] Enel Colombia S.A. ESP, "Tarifas de energía enel distribución," Enel Colombia, n.d., <https://www.enel.com.co/es/personas/tarifas-energia-enel-distribucion.html>. 3, 6
- [6] P. Paneque Buiza, "Diseño de una instalación fotovoltaica para una planta de reciclaje en kibera, nairobi (kenia)," 2024, <http://hdl.handle.net/11531/87369>. 4, 7

- [7] S. Tansing, "Solar tech: New pieces in the energy puzzle," *ReNew: Technology for a Sustainable Future*, no. 121, pp. 58–59, 2012, <https://www.jstor.org/stable/renetechsustfutu.121.58>. [Online]. Available: <https://www.jstor.org/stable/renetechsustfutu.121.58> 4, 14
- [8] M. M. S. Céspedes, C. Vasquez, and R. R. Pisco, "Disposición final e impacto ambiental de las celdas fotovoltaicas," *Publicaciones en Ciencias y Tecnología*, vol. 14, no. 2, pp. 74–90, 2020, <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/7998811.pdf>. 4, 13, 14
- [9] 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>. 4
- [10] M. A. Eltawil and Z. Zhao, "Grid-connected photovoltaic power systems: Technical and potential problems—a review," *Renewable and sustainable energy reviews*, vol. 14, no. 1, pp. 112–129, 2010, <https://doi.org/10.1016/j.rser.2009.07.015>. 5
- [11] A. J. Atucha, P. Gualdoni, and G. Blanco, "El índice de precios al consumidor y la inflación," 2018, <https://nulan.mdp.edu.ar/id/eprint/2880/1/atucha-et-al-2018.pdf>. 5
- [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, no. 32, 2022, <https://acortar.link/f0Autj>. 5, 8
- [13] C. Garrett, "¿cuánto co2 absorbe un árbol?" noviembre 2021, <https://climate.selectra.com/es/actualidad/co2-arbol>. [Online]. Available: <https://selectra.es> 5
- [14] Cedreo, "Cedreo: Software para diseño de planos de casas en 2d y 3d," 2024, <https://cedreo.com/es/planos-casas/>. 7
- [15] A. Ayang, R. Wamkeue, M. Ouhrouche, M. Saad, T. Andy Tameghe, K. Deli, and P. Tchakoua Takoutsing, "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>. 8

- [16] S. C. D. Quispe Perez, Rider Marco, "Diseño de un sistema fotovoltaico para suministrar energía eléctrica al caserío anexo perlas del altiplano juliaca-puno," 2023, <https://hdl.handle.net/20.500.12692/126492>. 8
- [17] G. B. Currea, *Ingeniería económica*. Fondo Educativo Interamericano, 1996, <https://www.scribd.com/doc/41037568/INGENIERIA-ECONOMICA-GUILLERMO-BACA-CURREA>. 9
- [18] I. D. G. Reyes, "Resolución no. 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," Bogotá, D.C., 2024, https://www1.upme.gov.co/Normatividad/705_2024.pdf. 9
- [19] C. Medina and CARACOL. (2024, noviembre) Con nuevo decreto de la creg, ahora los colombianos podrán autogenerar su energía. <https://www.wradio.com.co/2024/11/26/con-nuevo-decreto-de-la-creg-ahora-los-colombianos-podran-autogenerar-su-energia/>. [Online]. Available: <https://wradio.com.co> 9
- [20] S. S. Depot. (2020) Tipos de celdas solares. <http://www.sde.mx/tipos-de-celdas-solares/>. 14
- [21] Emergente, "Panel solar de 340w policristalino ecogreen," 2024, <https://www.emergente.com.co/tienda/panel-solar-de-340w-policristalino-ecogreen>. 14
- [22] EnelS.A. (2024) Tarifas de energía eléctrica (\$/kwh) reguladas por la comisión de regulación de energía y gas (creg) diciembre de 2023. <https://www.enel.com.co/content/dam/enel-co/espaa> 20
- [23] M. M. Ariza. (2024, septiembre) Tarifas de energía subieron 15,3 % anual entre 2021 y 2024, la cifra más alta del siglo. Editorial La República S.A.S. <https://www.larepublica.co/economia/tarifas-electricas-aumentaron-15-3-anual-entre-2021-y-2024-la-cifra-mas-alta-del-siglo-3964636>. [Online]. Available: <https://www.larepublica.co/economia/tarifas-electricas-aumentaron-15-3-anual-entre-2021-y-2024-la-cifra-mas-alta-del-siglo-3964636> 20

