

ARTÍCULOS

Diseño de un generador fotovoltaico de 50 kWp aplicado a un caso de estudio

Design of a 50 kWp photovoltaic generator applied to a case study



Aníbal Rubén Mantilla-Guerra ¹, Efrén Vinicio Herrera-Muentes ²



anibal.mantillaguerra6122@upse.edu.ec

¹ Universidad Estatal Península de Santa Elena. Facultad de Sistemas y Telecomunicaciones. La Libertad, Santa Elena, Ecuador.



e.herrera@upse.edu.ec

² Universidad Estatal Península de Santa Elena. Facultad de Sistemas y Telecomunicaciones. La Libertad, Santa Elena, Ecuador.

FIGEMPA: Investigación y Desarrollo

Universidad Central del Ecuador, Ecuador

ISSN-e: 2602-8484

Periodicidad: Semestral

vol. 19, núm. 1, 2025

revista.figempa@uce.edu.ec

Recepción: 14 octubre 2024

Aprobación: 17 enero 2025

DOI: <https://doi.org/10.29166/revfig.v19i1.7341>

Autor de correspondencia:

anibal.mantillaguerra6122@upse.edu.ec



Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Atribución 4.0 Internacional (CC BY 4.0)

Cómo citar:

Mantilla-Guerra, A. R., & Herrera-Muentes, E. V. (2025). Diseño de un generador fotovoltaico de 50 kWp aplicado a un caso de estudio. *FIGEMPA: Investigación y Desarrollo*, 19(1), e7341. <https://doi.org/10.29166/revfig.v19i1.7341>

RESUMEN

El diseño de este generador fotovoltaico responde a la necesidad que tiene una Institución de Educación Superior, de proveer energía eléctrica sin apagones al edificio de una Facultad de más de 1.200 personas. Fue necesario determinar las prioridades de demanda de energía eléctrica que tienen las diferentes unidades de la Facultad para diseñar el sistema de generación solar fotovoltaica de 50 kWp en base a la metodología seleccionada. Partiendo del conocimiento de la irradiancia en el lugar del proyecto fotovoltaico fue posible determinar la cantidad de paneles solares y la forma en que debían conformarse en arreglos serie paralelo para su conexión a los inversores. El sistema diseñado fue validado exitosamente con el uso del software PVsyst. Los resultados alcanzados fueron satisfactorios, el sistema de generación puede ser implementado a un costo razonable y la Facultad puede contar con provisión ininterrumpida de energía eléctrica en las horas en que se desarrollan las actividades universitarias. La realidad del País hace que empresas públicas y privadas consideren como alternativa para compensar el déficit energético, el uso de energía solar fotovoltaica, ya sea como consumidores o como proveedores de energía eléctrica.

Palabras claves: energía; panel fotovoltaico; eficiencia; energía eléctrica

ABSTRACT

The design of this photovoltaic generator responds to the need of a Higher Education Institution to provide electricity without blackouts to a Faculty building of more than 1.200 people. It was necessary to determine the electricity demand priorities of the different units of the Faculty in order to design the 50 kWp solar photovoltaic generation system based on the selected methodology. Based on the knowledge of the irradiance at the site of the photovoltaic project, it was possible to determine the number of solar panels and how they should be arranged in series-parallel arrays for connection to the inverters. The designed system was successfully validated with the use of the PVsyst software. The results achieved were satisfactory, the generation system can be implemented at a reasonable cost and the Faculty can count on an uninterrupted supply of electricity during the hours in which university activities are carried out. The reality of the country makes public and private companies consider the use of photovoltaic solar energy as an alternative to compensate for the energy deficit, either as consumers or suppliers of electrical energy.

Keywords: energy; photovoltaic panel; efficiency; cost-effectiveness; electrical ene

INTRODUCCIÓN

El aumento de la población mundial y la globalización han traído consigo un considerable incremento de los requerimientos de energía, fundamentalmente a partir de los derivados del petróleo, cuyas emisiones contaminantes son la principal causa del cambio climático (Madrid, 2012). Esto ha llevado a que en el mundo entero se busquen alternativas de suministro energético sostenible en el tiempo. En este contexto las energías renovables han recibido una mayor atención para su aprovechamiento eficiente. Así, la energía hidroeléctrica, geotérmica, mareomotriz, eólica, solar, son las fuentes de energía renovable más utilizadas en el mundo (Gil García, 2008).

La energía solar es una fuente inagotable de energía que no produce emisiones de CO₂ que contaminen el ambiente, pero si tienen una huella de carbono asociado a la fabricación de equipos. El acuerdo de la París tiene previsto para el 2030 una disminución significativa del consumo de energía fósil, con un incremento significativo del consumo de energía renovable (IRENA, 2017).

Según un informe de 2020 del Ministerio de Energía y Minas del Ecuador (MEM), hasta hace pocos años, el suministro de energía en el Ecuador era fundamentalmente de origen hidroeléctrico llegando a constituir el 92% del total del suministro, quedando la generación termoeléctrica en un 7%, y otras fuentes de energía no convencionales en un 1%.

Según un informe publicado el 13 de septiembre del 2024 por el Banco Central del Ecuador indica que "la crisis en el sector eléctrico, con potenciales apagones en el último cuatrimestre de 2024, podría afectar negativamente a la producción, tanto en el sector industrial como en el consumo general de los hogares, reduciendo la actividad económica (Silva, 2024).

El embalse de Mazar alimenta al Complejo Hidroeléctrico Paute Integral, que está conformado por las centrales Mazar, Molino y Sopladora, que juntas aportan con 1757 megavatios (MW) al sistema nacional interconectado, lo cual es muy significativo para atender el crecimiento de la demanda de energía eléctrica del país de 6.958,35 MVA en el año 2023 a 7.098,21 MVA al 2025 (Ministerio de Energía y Minas, 2024).

Sin embargo, el déficit actual de electricidad es de 1.080 MW. El 90% de la electricidad del país depende de las hidroeléctricas, y por lo tanto de los caudales de los ríos; la falta de lluvias ha reducido la capacidad de estas plantas. En algunos casos, como el de Paute, han dejado de funcionar temporalmente a la espera de lluvia. El Gobierno ha adquirido 430 MW adicionales y espera poder comprar energía a Colombia, que ha blindado su sistema ante posibles racionamientos. Lo único que salvará al país de que los cortes de electricidad se prolonguen es que llueva (Mella, 2024).

En el 2018, la aprobación de la Regulación No. ARCONEL 003/18 "Generación fotovoltaica para autoabastecimiento de consumidores finales de energía eléctrica", fue la primera normativa para la implementación de centrales de generación fotovoltaica de hasta 300 kW para el sector residencial y hasta 1000 kW para comerciales e industriales (ARCERNR, 2024).

El uso de energía solar fotovoltaica depende del nivel de radiación disponible y de la eficiencia en la conversión de energía, pero en última instancia, de la medida del ahorro en el consumo de energía y los costos de esta tecnología, siendo necesario considerar la importancia del factor humano en la garantía del ahorro y la incertidumbre asociada. El estudio que determine la factibilidad de su uso, debe basarse en la planificación, el seguimiento y la evaluación de proyectos y programas, destacando la importancia de la evaluación de la rentabilidad de los proyectos (Pambi Toapanta, 2023). Por su ubicación geográfica, el Ecuador es un país privilegiado en cuanto el recurso solar, medido como insolación media global que llega en promedio hasta 4.693 Wh/m² /día (Vaca Revelo, 2018).

En la Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann en Tacna, Perú, se ha instalado sistemas de generación solar fotovoltaica que no solo permite cubrir las necesidades energéticas previstas, sino que es un medio para crear conciencia entre los miembros de la Universidad sobre la afectación al medio ambiente y el uso cada vez más creciente de energías renovables no convencionales (Linares Vizcarra *et al.*, 2022).

Para el caso de la universidad en referencia, los racionamientos de energía eléctrica afectan muy significativamente las actividades académicas, administrativas, e investigativas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Existen diferentes enfoques con los que se puede diseñar un sistema de generación solar fotovoltaico, sin embargo, todos coinciden en la correcta determinación del recurso energético, el dimensionamiento adecuado de los componentes, y la comprensión de los costos involucrados en la implementación de esos sistemas (Fernández Salgado, 2009).

En esta sección se presenta el diseño del sistema de generación solar fotovoltaico de 50 kWp, siguiendo la metodología propuesta por (Naranjo Vargas, 2022), ya que de forma organizada y clara realiza los cálculos que posteriormente fueron validados con el uso del software PVsyst, potente herramienta usada por ingenieros e investigadores a nivel mundial (Avilés Chancay y Pichardo Duarte, 2022).

Se analizó la posibilidad de contar con sistemas de almacenamiento de energía que provean las siguientes ventajas:

1. Suministrar energía a la carga cuando la producción energética disminuya o sea inexistente, por disminución o ausencia de radiación solar.
2. Respaldar las cargas críticas.

Contar con sistemas de almacenamiento de energía implica un costo adicional al sistema de producción dependiendo de su capacidad y tecnología (Robyns *et al.*, 2021).

Finalmente, el hecho de que las actividades que se desarrollan en la Facultad provoquen una curva de demanda por horas coincidente con la curva de radiación solar, hizo que se prescindiera de sistemas de almacenamiento.

Los inversores modernos tienen función MPPT, por lo cual es fundamental tener una comprensión clara de que MPPT hace referencia a la capacidad de rastreo del punto de máxima potencia, con el fin de maximizar la energía disponible de los paneles fotovoltaicos en cualquier momento durante su operación. Un módulo solar es una fuente de alimentación de CC de energía limitada y tiene impedancias internas que varían a lo largo del día, dependiendo principalmente del nivel de irradiancia solar que incide sobre la superficie del módulo y de la temperatura de la celda (Solarpowerworld, 2014). En la Figura 1 se presenta el diagrama de flujo del método en referencia.

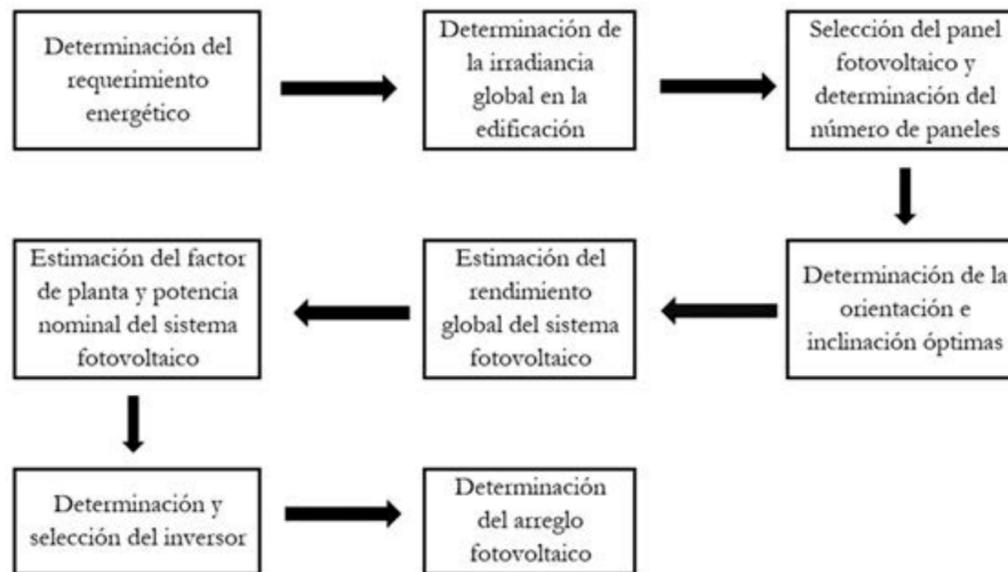


FIGURA 1
Metodología del diseño

La ejecución cuidadosa y organizada de cada uno de estos ocho pasos descritos en esta metodología secuencial, permitió realizar un diseño confiable del sistema de generación solar fotovoltaico. Finalmente, un análisis a detalle de la información sobre modelos tectónicos, estructurales y estratigráficos de las cuencas nororientales del Perú (Marañón y Santiago), permite la correlación con la interpretación del presente estudio y el establecimiento del modelo geológico común del pre-Cretácico en el suroriente.

Determinación del requerimiento energético

Las abreviaturas que se presentan en la Tabla 1, son las que se utilizan en los diferentes textos de la normativa de la Empresa Eléctrica Quito (Cevallos Salazar, 2015).

TABLA 1
Abreviaturas utilizadas para proyectos eléctricos

Denominación	Abreviatura
Potencia nominal	Pn
Carga instalada	CI
Factor de Frecuencia de Uso de una carga individual	FFUn
Carga instalada por consumidor representativo	CIR
Factor de simultaneidad para la carga individual	FSn
Demanda máxima unitaria	DMU

En la Tabla 2 se presenta la cuantificación aproximada de la energía total que requiere el usuario. Para coches eléctricos, se incorporaron dos puntos de carga semirápida de 8kW con tiempos de carga entre 1,5 y 3 horas (Trashorras Montecelos, 2019).

TABLA 2
Determinación del requerimiento energético del usuario

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD EN UNIDADES	P _n [W]	CI [W]	FFU _n [%]	CIR [W]	FS _n [%]	DMU [W]	TIEMPO DIARIO DE USO [h]	ENERGIA DIARIA REQUERIDA [kWh]
Luces	200	30	6.000	50	3.000	50	1.500	8	12
Tomas de corriente disponibles	50	100	5.000	50	2.500	50	1.250	2	2,5
Equipos computacionales y de oficina	70	100	7.000	100	7.000	80	5.600	8	44,8
Proyectores	15	600	9.000	50	4.500	30	1.350	4	5,4
Equipos de comunicaciones	10	80	800	100	800	100	800	12	9,6
Cafeteras	6	700	4.200	100	4.200	30	1.260	1	1,26
Cámaras de monitoreo	20	8	160	100	160	100	160	12	1,92
Pantallas de televisión/seguridad	2	100	200	100	200	100	200	12	2,4
Bomba de agua	1	1.500	1.500	50	750	100	750	4	3
Seca manos	5	1.800	9.000	30	2.700	50	1.350	1	1,35
Calefactores	8	2.000	16.000	100	16.000	50	8.000	2	16
Hornos microondas	5	1.200	6.000	100	6.000	50	3.000	0,2	0,6
Laboratorios	20	200	4.000	50	2.000	50	1.000	4	4
Punto de carga para coches eléctricos	2	7.000	14.000	100	14.000	80	11.200	8	89,6
Ascensor	1	8.000	8.000	100	8.000	100	8.000	2	16
							TOTAL		TOTAL
							45.420		210,43

Energía mensual requerida = 30 * 210,43 kWh = 6.312,9 kWh

Energía anual requerida = 12 * 6.552,9 kWh = 75.754,8 kWh

Determinación de la irradiancia global en la edificación

Hay abundante información sobre la radiación solar incidente en la superficie de la tierra, proporcionada por atlas solares, bases de datos de satélites, bases de datos de estaciones meteorológicas, y otros documentos confiables como los que posee PVsyst. Por ello resulta fundamental seleccionar y tomar aquella información que refleje exactamente la irradiancia global en el sitio en que se planea instalar el sistema de generación solar fotovoltaico. Información proporcionada por la estación Belisario de la ciudad de Quito, registra una irradiancia de 4,69 kWh/m²/día (Vaca Revelo, 2018) en el Sector en el que se encuentra ubicada la Universidad en referencia. Los datos de la zona en que se efectúa el estudio se presentan en la Tabla 3.

TABLA 3
Ubicación geográfica del área del estudio

Ubicación Político-administrativa				Coordenadas Geográficas	
Provincia	Cantón	Parroquia	Barrio	Latitud	-0,19821
Pichincha	Quito	Belisario Quevedo	La Gasca	Longitud	-78,50569

Selección del panel fotovoltaico y determinación del número de paneles

Un panel fotovoltaico que ha resultado ser confiable, de fácil maniobrabilidad, con una eficiencia de 20.29%, es el panel solar un monocristalino de la marca AESOLAR de 400 W (Enfsolar, 2024). Este fue el panel seleccionado para este proyecto. Algunos de sus datos técnicos se detallan en la Tabla 4.

TABLA 4
Datos técnicos panel solar AE400MB-72

PANEL SOLAR MONOCRISTALINO 400 W	
Masa	20,5 kg
Largo	1,979 m
Ancho	0,996 m
Espesor	30 mm
Superficie	1,97 m ²
Número de celdas	72
Potencia Máxima	400 W _p
Voltaje en el punto de máxima potencia	41,71 V
Voltaje nominal de panel fotovoltaico	32 V
Corriente de máxima potencia	9,59 A
Eficiencia STC	20,2%

La ecuación 1 permite relacionar la potencia pico con el número de paneles fotovoltaicos (Naranjo Vargas, 2022).

$$P_p = n * P_{panel} \quad \text{Ec. (1)}$$

Dónde:

P_p: potencia pico de la instalación fotovoltaica

n: número de paneles fotovoltaicos

P_{panel}: potencia de cada panel fotovoltaico

Dado que una práctica común en ingeniería es utilizar el 10% como factor de seguridad en el sobredimensionamiento, la potencia pico del generador fotovoltaico debe ser igual a la DMU*1,1, que equivale a 49962 W, por tanto, se realiza el diseño para 50 kWp.

$$n = \frac{P_p}{P_{panel}}$$

$$n = \frac{50 \text{ kW}}{400 \text{ W}}$$

$$n = 125$$

Determinación de la orientación e inclinación óptimas

Los paneles fueron colocados en posición horizontal, con su eje axial paralelo a la dirección sur – norte, con sus celdas fotovoltaicas apuntando directamente al Oriente. El ángulo de inclinación seleccionado fue de 0 grados para aprovechar la mayor cantidad de recurso solar disponible en las horas del día, esto conlleva a que la superficie total requerida para los paneles fotovoltaicos sea de 125x1,97 m², que es igual a 246,25 m².

Estimación del rendimiento global del sistema fotovoltaico

Para estimar el rendimiento global del sistema se multiplicaron los valores de rendimiento de cada uno de los parámetros que inciden en el desempeño; para esto se utilizó la ecuación 2.

$$RG = \eta_{fa} * \eta_{pa} * \eta_t * \eta_p * \eta_i * \eta_c \quad \text{Ec. (2)}$$

Dónde:

RG: rendimiento global del sistema fotovoltaico

η_{fa} : rendimiento por el factor ambiental debido al polvo y suciedad

η_{pa} : rendimiento por la posición angular dependiendo de la latitud y orientación

η_t : rendimiento térmico que incide directamente en el desempeño de todo el sistema

η_p : rendimiento de los paneles en función de los años de uso

η_i : rendimiento del inversor en el proceso de conversión de DC en AC

η_c : rendimiento de los cables por las caídas de tensión en DC y en AC

Para cada uno de estos parámetros hay rangos de valores ya conocidos, y la determinación de los valores puntuales de operación se establece con las hojas de datos proporcionadas por los fabricantes. De esta manera se calcula el rendimiento global con la ecuación 2:

$$RG = 0,92 * 0,98 * 0,90 * 0,90 * 0,97 * 0,97$$

$$RG = 0,7$$

Estimación del factor de planta y potencia nominal del sistema fotovoltaico

Para calcular el factor de planta, primero es necesario calcular las horas de sol pico y establecer la irradiancia global horizontal, que se entiende como la suma de la radiación directa y difusa, sobre una misma superficie, o simplemente radiación total incidente. Para este cálculo se utiliza la ecuación 3 (Naranjo Vargas, 2022).

$$HSP = \frac{GHI \left[\frac{kWh}{m^2} \right]}{1 \left[\frac{kW}{m^2} \right]} \quad \text{Ec. (3)}$$

Dónde:

HSP: horas de sol pico

GHI: radiación total incidente

1: factor de conversión

$$HSP = \frac{4,69 \left[\frac{kWh}{m^2} \right]}{1 \left[\frac{kW}{m^2} \right]}$$

$$HSP = 4,69 \text{ h}$$

El factor de planta se calcula con la ecuación 4 (Naranjo Vargas, 2022):

$$FPL = \frac{HSP[h]}{24[h]} * RG[p.u.] \quad \text{Ec. (4)}$$

Dónde:

FPL: factor de planta

HSP: horas solar pico

RG: rendimiento global del sistema

$$FPL = \frac{4,69[h]}{24[h]} * 0,7[p.u.]$$

$$FPL = 0,1954$$

Ahora es posible determinar la potencia nominal del sistema fotovoltaico, para esto se utiliza la ecuación 5 (Vaca Revelo, 2018).

$$PNFV = \frac{Em}{FPL * 24h/día * 30días/mes} \quad \text{Ec. (5)}$$

Dónde:

PNFV: potencia nominal de sistema fotovoltaico en kW

Em: energía eléctrica requerida por mes en kWh/mes

FPL: factor de planta en por unidad

$$PNFV = \frac{6360 \frac{kWh}{mes}}{0,195 * \frac{24h}{día} * 30días/mes}$$

$$PNFV = \frac{6360 kWh/mes}{FPL * 24h/día * 30días/mes}$$

$$PNFV=45,2 \text{ kW}$$

Determinación y selección del inversor

Se requiere un inversor de al menos 50kWp de los paneles fotovoltaicos para entregar 45,2 kW de AC, por este motivo, se seleccionó el inversor 3PH 45KTL-V3 (Techno Sun, 2024). En la Tabla 5 se presentan los parámetros fundamentales del inversor seleccionado.

TABLA 5
Inversor seleccionado

3PH 45KTL-V3		
ENTRADA DE DC	Típica potencia de DC	54.000 W
	Máxima potencia de DC por cada MPPT	25.000 W (625 V – 850 V)
	Número de MPPT independientes	4
	Número de canales por MPPT	2
	Máximo voltaje DC de entrada	1.100 V
	Rango de voltaje en DC del MPPT	180 V – 1.000 V
	Rango de voltaje de DC a plena carga	510 V – 850 V
	Máxima corriente de entrada por cada MPPT	40 A
	Voltaje de entrada de potencia máxima	390V – 800 V
	Máxima corriente absoluta de entrada por cada MPPT	50 A
SALIDA DE AC	Potencia nominal de AC	45.000 W
	Máxima Potencia de AC	49.500 W
	Máxima corriente de AC por fase	75,8 A

Para la determinación del número de inversores se utiliza la ecuación 6 (Naranjo Vargas, 2022).

$$NINV = \frac{PNFV}{PACINV} \quad \text{Ec. (6)}$$

Dónde:

NINV: número de inversores

PNFV: potencia nominal de sistema fotovoltaico en kW

PACINV: potencia nominal del inversor

$$NINV = \frac{45,2 \text{ kW}}{45 \text{ kW}}$$

$$NINV = 1,004$$

Por tanto, el número de inversores requeridos es uno.

Determinación del arreglo fotovoltaico

Al determinar el arreglo fotovoltaico queda establecido el número de paneles fotovoltaicos en serie que conforman cada cadena y el número de cadenas en paralelo que se conectan a los canales de los MPPT del inversor. Con la ecuación 7 (Naranjo Vargas, 2022) se calcula el número mínimo de paneles en serie que conforman la cadena.

$$N_{min} = \frac{V_{mpp \text{ min inv}}}{V_{mpp \text{ panel}}} \quad \text{Ec. (7)}$$

Dónde:

$V_{mpp \text{ min inv}}$: Voltaje en el punto mínimo a la entrada del inversor

$V_{mpp \text{ panel}}$: Voltaje del panel en el punto de máxima potencia

$$N_{min} = \frac{180}{41,71}$$

$$N_{min} = 4,32$$

Con la ecuación 8 (Naranjo Vargas, 2022) se calcula el número máximo de paneles en serie que conforman la cadena.

$$N_{max} = \frac{V_{mpp \text{ max inv}}}{V_{mpp \text{ panel}}} \quad \text{Ec. (8)}$$

Dónde:

$V_{mpp \text{ max inv}}$: Voltaje en el punto máximo a la entrada del inversor

$V_{mpp \text{ panel}}$: Voltaje del panel en el punto de máxima potencia

$$N_{max} = \frac{1000}{41,71}$$

$$N_{max} = 23,98$$

Con la ecuación 9 (Naranjo Vargas, 2022) se calcula el valor promedio que constituye una referencia para establecer el número de paneles en serie de la cadena.

$$N_{pron} = \frac{N_{min} + N_{max}}{2} \quad \text{Ec. (9)}$$

$$N_{pron} = \frac{4,32 + 23,98}{2}$$

$$N_{pron} = 14,15$$

Por tanto, el número de paneles en serie por cada arreglo es de 15. Dado que el total de paneles es de 125, estos forman 8 arreglos como se presentan en la Tabla 6.

TABLA 6
Arreglos fotovoltaicos que se conectan al inversor

ENTRADA	CANAL	ARREGLO FOTOVOLTAICO				
		Número de arreglo serie [unidades]	Número de paneles [unidades]	Voltaje terminal en el punto de potencia máxima [V]	Corriente en el punto de potencia máxima [A]	Potencia Pico de DC [W]
MPPT 1	Canal 1	1	15	625,65	9,59	5.999,98
	Canal 2	2	15	625,65	9,59	5.999,98
MPPT 2	Canal 1	3	15	625,65	9,59	5.999,98
	Canal 2	4	15	625,65	9,59	5.999,98
MPPT 3	Canal 1	5	15	625,65	9,59	5.999,98
	Canal 2	6	15	625,65	9,59	5.999,98
MPPT 4	Canal 1	7	15	625,65	9,59	5.999,98
	Canal 2	8	20	834,2	9,59	7.999,98
Total 125					Total 49.999,86	

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Tabla 7 se presentan los resultados obtenidos a partir de la simulación realizada con PVsyst, del sistema previamente diseñado.

TABLA 7
Valores de irradiancia y energía en la conversión fotovoltaica del sistema de 50 kWp

	Irradiancia Global Horizontal [KWh/m ²]	Irradiancia Global Efectiva [kWh/m ²]	Energía eléctrica que produce el arreglo [kWh]	Energía eléctrica que produce el generador [KWh]	Proporción de rendimiento [p.u.]
Enero	176,8	171,8	7.682	7.561	0,856
Febrero	138,9	135,0	6.110	6.013	0,866
Marzo	163,4	158,8	7.128	7.015	0,859
Abril	159,1	155,1	6.948	6.833	0,859
Mayo	170,2	165,7	7.430	7.308	0,858
Junio	168,1	163,7	7.383	7.264	0,864
Julio	179,9	175,1	7.838	7.713	0,858
Agosto	189,5	184,9	8.234	8.104	0,855
Septiembre	166,0	161,9	7.164	7.047	0,849
Octubre	153,8	149,7	6.724	6.611	0,859
Noviembre	145,2	141,2	6.283	6.172	0,850
Diciembre	163,4	159,0	7.186	7.070	0,865
Año	1.974,4	1.921,9	86.109	84.711	0,858

Estos resultados muestran que de una irradiancia global horizontal de 1.974,4 kWh/m², únicamente 1.921,9 kWh/m² son útiles en el proceso de conversión de energía en los 246 m² de superficie total de los paneles fotovoltaicos, cuya eficiencia alcanza el 20,2 % de acuerdo a los datos del fabricante. Existen pérdidas de energía por diferentes factores que limitan producción anual a 84.711 kWh, este valor es 11,8 % mayor a los 75.754,8 kWh que estaban proyectados para el consumo anual al inicio del diseño del proyecto, lo cual garantiza la provisión total de energía. Los meses de mayor producción son en verano, y los de menor producción en invierno. Es importante indicar que los 6.312,9 kWh mensuales requeridos por el usuario son cubiertos en todos los meses del año por el sistema de generación, salvo en febrero y noviembre en que la producción cubre el 95% y el 98% de la demanda, respectivamente. Se debe considerar que el tiempo de vida útil de la central de generación es de 25 años, con una estimación promedio de pérdida de potencia de 0,5% por cada año de operación (Roldán Viloria, 2013).

En la Tabla 8 se presenta una comparación entre el diseño para el caso de estudio, y un diseño realizado para la Universidad Politécnica Salesiana por Aguirre Valle y Salas Ibarra (2024). Se puede apreciar que el presente diseño es más preciso llegando a 49,99 kWp, produce 11% más energía, y su costo es 18% menor. Esto se explica por un diseño más minucioso y preciso que el realizado para la Universidad Politécnica Salesiana. Es necesario indicar que el Servicio Nacional de Contratación Pública después de realizar estudios técnicos y de mercado, ha fijado el valor del kWp en 850 USD, información que se encuentra publicada en su portal.

TABLA 8

Comparación del diseño del caso de estudio con un diseño realizado para la UPS

Parámetro	Diseño para la Universidad del caso de estudio	Diseño para la Universidad Politécnica Salesiana
Fecha	Agosto 2024	Agosto 2024
Potencia pico requerida	50 kWp	50 kWp
Potencia que entrega el sistema fotovoltaico	49,99 kWp	51,84 kWp
Potencia pico de cada panel fotovoltaico	400	480
Número de paneles fotovoltaicos	125	108
Sistema de almacenamiento de energía	No	No
Energía anual producida	75.754,8 kWh	68.118 kWh
Costo por kWp	850 USD	1.033,58 USD
Costo del sistema de producción eléctrica	42.500 USD	51.679,16

CONCLUSIONES

El diseño del sistema de generación solar fotovoltaica de 50 kWp, satisface los requerimientos del usuario. Su capacidad de generación fue validada con el software PVsyst.

La tecnología de paneles solares evoluciona rápidamente, se puede producir más energía por metro cuadrado con paneles de más potencia y de más alta eficiencia, sin embargo, los costos de inversión por lo general son más elevados.

Desde el punto de vista económico, si se consideran los costos de ingeniería, licencias, gestión, adquisición de equipos, montaje, y puesta en operación; el costo del proyecto asciende a los 850 USD por cada kWp, esto quiere decir que el costo de implementar este proyecto es de 42.500 USD, aproximadamente.

Contribuciones de los autores

Aníbal Rubén Mantilla Guerra: conceptualización, investigación, metodología, recursos, investigación, software, redacción – borrador original, validación, redacción – revisión y edición.

Efrén Vinicio Herrera Muentes: supervisión

Cesión de derechos y declaración de conflicto de intereses

La revista FIGEMPA: Investigación y Desarrollo conserva los derechos patrimoniales (copyright) de la obra publicada, al mismo tiempo que promueve y permite su reutilización. La obra se publica en edición electrónica bajo la licencia Creative Commons CC-BY 4.0, que permite a los usuarios compartir, copiar y redistribuir el contenido, siempre que se dé el debido reconocimiento a los autores (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

Los autores declaran haber respetado los principios éticos de investigación y estar libre de cualquier conflicto de intereses.

REFERENCIAS

- ARCERNNR (2024) *Revista Panorama Eléctrico*. 22 Ed. Quito: Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales No Renovables. Disponible en: https://controlrecursosyenergia.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2024/05/Revista-22-final_baja.pdf
- Aguirre Valle, D. E. y Salas Ibarra, M. A. (2024) *Diseño de un sistema fotovoltaico para la Universidad Politécnica Salesiana Sede Guayaquil bloque F de 50 KW*. Tesis de grado de ingeniero eléctrico. Universidad Politécnica Salesiana. Disponible en: <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/28519>
- Avilés Chancay, J. y Pichardo Duarte, J. (2022) *Diseñar e implementar un sistema de energías renovables (fotovoltaico) para moradores de la zona rural en golfo de Guayaquil*. Tesis de grado de ingeniero eléctrico. Universidad Politécnica Salesiana Sede Guayaquil.
- Disponible en: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/23208/1/UPS-GT003924.pdf>
- Cevallos Salazar, L. E. (2015) *Estudio de la demanda eléctrica diversificada en edificios residenciales*. Tesis de grado de ingeniero eléctrico. Universidad Politécnica Salesiana. Disponible en: <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/8058>
- Enfsolar (2024) *Características del panel solar AE400MB-72*. Disponible en: <https://es.enfsolar.com/pv/panel-datasheet/crystalline/47331>
- Fernández Salgado, J. (2009) *Tecnologías de las energías renovables*. Primera edición. Madrid: Mundi-Prensa. ISBN: 9788484763499. Disponible en: https://biblioteca.unirioja.es/biba/mas_info.php?-titn=305106
- Gil García, G. (2008) *Energías del siglo XXI*. Primera edición. Madrid: Mundi-Prensa. ISBN: 9788484763475. Disponible en: <https://www.mundiprensa.com/catalogo/9788484763475/energias-del-siglo-xxi-de-las-energias-fosiles-a-las-alternativas>
- IRENA (2017) *Estadísticas de Energía Renovable 2017*. Abu Dhabi: International Renewable Energy Agency. Disponible en: https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2017/Jul/IRENA_Renewable_Energy_Statistics_2017.pdf
- Linares Vizcarra, M. L. del C., Montero Zuñiga, E. T. y Mendoza Aranzamendi, J. A. (2022) "La energía solar y sus beneficios en la Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann en Tacna, Perú", *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 6(6), pp. 7161-7174. Disponible en: <https://doi.org/10.37811/clrcm.v6i6.3939>
- Madrid, A. (2012) *Guía completa de las energías renovables y fósiles*. Primera edición. Madrid: AMV Ediciones. ISBN: 9788496709775. Disponible en: <https://inenco.unsa.edu.ar/guia-completa-de-las-energias-renovables-y-fosiles/>
- Mella, C. (2024) *Ecuador sufre apagones de hasta 14 horas en medio de una grave crisis energética*. El País. Disponible en: <https://elpais.com/america/2024-09-24/ecuador-sufre-apagones-de-hasta-14-horas-en-medio-de-una-grave-crisis-energetica.html>
- Ministerio de Energía y Minas (2020) *Ecuador consolida la producción eléctrica a partir de fuentes renovables*. Disponible en: <https://www.recursosyenergia.gob.ec/ecuador-consolida-la-produccion-electrica-a-partir-de-fuentes-renovables/>
- Ministerio de Energía y Minas (2024) *Informe de resultados e indicadores - Plan de desarrollo para el nuevo Ecuador 2024 - 2025*. Disponible en: https://www.recursosyenergia.gob.ec/wp-content/uploads/2024/08/Primer-Semestre-7.1.3-Informe_de_resultados-potencia_instalada_-1.pdf
- Naranjo Vargas, R. A. (2022) *Guía para el diseño de sistemas fotovoltaicos para el autoabastecimiento de unidades habitacionales: guía para el diseño de sistemas fotovoltaicos para el autoabastecimiento de unidades habitacionales*. Tesis de grado de ingeniero eléctrico. Escuela Politécnica Nacional. Disponible en: <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/23258>
- Pambi Toapanta, G. A. (2023) *Factibilidad para la implementación de un sistema de energía fotovoltaica para la planta de San Gabriel de la empresa Alpina Ecuador*. Tesis de Magister en Administración de Empresas. Universidad Central del Ecuador. Disponible en: <https://www.dspace.uce.edu.ec/server/api/core/bitstreams/b993b695-ab36-4b49-b9d9-4b3229193583/content>
- Robyns, B., Francois, B., Delille, G. y Saudemont, C. (2021) *Gestión y valoración del almacenamiento de energía en las redes eléctricas*. Primera edición. Reino Unido: ISTE International. Disponible en: <https://play.google.com/books/reader?id=IcICEAAQBAJ&pg=GBS.PR4>
- Roldán Vilorio, J. R. (2013) *Organización y control del montaje de instalaciones solares fotovoltaicas*. Primera ed. Madrid: Paraninfo. ISBN: 9788428332996. Disponible en: https://www.paraninfo.es/catalogo/9788428332996/mf0844_3--organizacion-y-control-del-montaje-de-instalaciones-solares-fotovoltaicas
- Silva, V. (2024) *Con cinco días de largos apagones ya se cuentan pérdidas para negocios y menor crecimiento económico*. El Universo. Disponible en: <https://www.eluniverso.com/noticias/economia/apagones-cortes-de-luz-empresas-negocios-crisis-sector-electrico-banco-central-del-ecuador-nota/>
- Solarpowerworld (2014) *Dual Solar MPPT Defined*. Disponible en: <https://www.solarpowerworldonline.com/2014/02/dual-mppt-defined-understanding-mppt/>

Techno Sun (2024) *Inversor trifásico*. Disponible en: <https://b2b.technosun.com/en/shop/zz3-50kvl-v3-s-azurro-3ph-50kvl-v3-inversor-trifasico-50kw-40a-4-mppt-180v-1000v-37866#attr=9347>

Trashorras Montecelos, J. (2019) *Vehículos eléctricos*. Primera ed. Madrid: Paraninfo. ISBN: 9788428343039. Disponible en: <https://play.google.com/books/reader?id=FMqwDwAAQBAJ&pg=GBS.PR4>

Vaca Revelo, D. G. (2018) *Validación de datos satelitales de radiación solar utilizando mediciones terrestres para el Ecuador*. Tesis de grado de ingeniero mecánico. Escuela Politécnica Nacional. Disponible en: <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/19516>