



DISEÑO Y EVALUACIÓN TÉCNICO-ECONÓMICA DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO DISTRIBUIDO PARA UNA INSTITUCIÓN EDUCATIVA EN ESMERALDAS, ECUADOR

TECHNO-ECONOMIC DESIGN AND EVALUATION OF A DISTRIBUTED PHOTOVOLTAIC SYSTEM FOR AN EDUCATIONAL INSTITUTION IN ESMERALDAS, ECUADOR

Erick Mera Otoyá

Instituto Superior Tecnológico Luis Tello

erickmera77@gmail.com

 <https://orcid.org/0009-0009-6870-0488>

Fecha de recibido: 2025-01-12

Fecha de aceptado para publicación: 2025-02-20

Fecha de publicación: 2025-05-3

Resumen

Este estudio presenta el diseño y simulación de un sistema fotovoltaico conectado a la red, orientado al autoabastecimiento eléctrico de la Unidad Educativa Walter Quiñonez Sevilla, ubicada en Esmeraldas. Con un consumo mensual promedio de 4.125 kWh, se planteó una solución basada en energía solar, seleccionando los componentes del sistema bajo criterios técnicos, económicos y ambientales. Se utilizó el software PVsyst (versión 7.2) para modelar la instalación, estimando una producción anual de 62,46 MWh. El sistema incluye 99 paneles monocristalinos de 440 W y un inversor de 50 kW, generando excedentes que pueden ser inyectados a la red. Los resultados reflejan una reducción de 12 toneladas de CO₂ al año y un retorno de inversión estimado en seis años. Además de ser viable, la propuesta representa un modelo replicable para otras instituciones educativas que buscan transitar hacia la sostenibilidad.

Palabras clave: generación distribuida, energía solar fotovoltaica, autoabastecimiento, energía renovable, PVsyst.

Abstract

This study presents the design and simulation of a grid-connected photovoltaic system aimed at the self-supply of electricity for the Unidad Educativa Walter Quiñonez Sevilla, located in Esmeraldas, Ecuador. With an average monthly consumption of 4,125 kWh, a solar energy-based solution was proposed, selecting system components based on technical, economic, and environmental criteria. The installation was modeled using PVsyst software (version 7.2), estimating an annual production of 62.46 MWh. The system includes 99 monocrystalline panels of 440 W and a 50-kW inverter, producing surplus energy that can be injected into the grid. The results show a reduction of 12 tons of CO₂ per year and an estimated return on investment of six years. In addition to being viable, the proposal represents a replicable model for other educational institutions seeking to transition toward sustainability.

Keywords: distributed generation, photovoltaic solar energy, self-supply, renewable energy, PVsyst.¹

¹Este artículo es un documento de acceso abierto distribuido bajo los términos y condiciones de la Licencia Creative Commons, Atribución-NoComercial 4.0 Internacional.



Cómo citar Mera Otoyá, E. (n.d.). Diseño y evaluación técnico-económica de un sistema fotovoltaico distribuido para una institución educativa en Esmeraldas, Ecuador. PensagoraMD. Retrieved May 3, 2025, from <https://pensagoramd.com/index.php/md/article/view/11>

1.- Introducción

El sector educativo juega un papel clave como ejemplo de adopción de tecnologías limpias y promoción de la sostenibilidad. La incorporación de sistemas renovables en instituciones educativas es esencial para reducir el consumo energético y la huella de carbono, a la vez que garantiza un suministro eléctrico local. En la práctica, la energía solar fotovoltaica se ha popularizado en colegios por su capacidad para disminuir costos operativos y dependencia de la red convencional. Este enfoque no solo beneficia económicamente a las instituciones, sino que convierte a las escuelas en centros educativos sobre energías limpias para los estudiantes (Almasri, 2024).

En el contexto ecuatoriano, la matriz eléctrica nacional es mayoritariamente hidroeléctrica (61% de la capacidad instalada), mientras que la capacidad solar fotovoltaica operativa era sólo ~29 MW al cierre de 2022 (~0,5% del total). El Plan Eléctrico 2018-2027 contempla incorporar 550 MW adicionales de renovables (solar, eólica, etc.) para 2027 (Enerdata, 2024). Sin embargo, la fuerte dependencia en grandes represas ha provocado problemas de suministro: en 2023 se implementaron cortes programados debido a sequías prolongadas (International Trade Administration, 2024). Estas circunstancias refuerzan la importancia de soluciones locales como la generación distribuida fotovoltaica, que pueden aliviar la demanda de la red y mejorar la resiliencia energética.

El objetivo principal de este estudio es dimensionar y evaluar un sistema de generación distribuida fotovoltaico que garantice el autoabastecimiento eléctrico de la Unidad Educativa Walter Quiñonez Sevilla. Se parte del perfil de demanda real de la institución, considerando variaciones mensuales y picos de consumo, y se diseña un arreglo solar conforme a criterios técnicos (orientación, inclinación, eficiencias) y económicos contemporáneos. Se emplean herramientas de simulación reconocidas (como PVsyst) y análisis financiero detallado para determinar la viabilidad técnica, económica y ambiental del sistema propuesto.

2.- Metodología

Se siguió un enfoque mixto (cuantitativo y cualitativo) para comprender las necesidades de la comunidad escolar y diseñar el sistema FV. Primero, análisis de consumo energético: se recopilaron datos históricos de facturación eléctrica de la institución (último año), calculando consumo mensual promedio y curvas de carga horaria. Este análisis identificó la demanda mínima (4 125 kWh/mes) y permitió estimar la capacidad mínima necesaria del sistema fotovoltaico para cubrirla. También se revisaron posibles cambios futuros en la matrícula o equipamiento que podrían aumentar la demanda.

En la segunda fase en la selección de componentes, se consideraron paneles solares, inversores y soportes de montaje. Se evaluaron módulos con tecnologías policristalinas de alta potencia (≥ 400 W) por su eficiencia y costo. En particular, se optó por paneles de 440 W con buenas características eléctricas para la latitud local. El inversor seleccionado fue un Sunzet 50KVA (50 kW AC), adecuado para la potencia de los paneles elegidos y con eficiencia nominal $> 96\%$. Se determinó la configuración: 99 módulos en total (conexión en 11 cadenas de 9 paneles en serie), entrega ~ 43.6 kWp DC. La inclinación óptima del arreglo se definió en 5° respecto a la horizontal (casi plano), para maximizar captación en esta ubicación ecuatorial, con azimut 0° (orientación sur en latitudes ecuatoriales) (OLADE (2023)). Las estructuras de soporte se diseñaron fijas en techo. Se consideró también un sistema de protección, fusibles y cableado apropiado, asumiendo pérdidas eléctricas estimadas (cableado $\sim 1.5\%$ de STC).

Finalmente, en la simulación del sistema con los parámetros seleccionados, el sistema fue modelado en PVsyst. Se ingresaron datos meteorológicos locales (irradiación horizontal anual ~ 1785 kWh/m², promedio de temperatura y pérdidas térmicas según características del módulo). PVsyst calcula la generación mensual y anual esperada, así como el rendimiento específico y pérdidas. También se definieron pérdidas adicionales: desajuste del 1.0% entre módulos, pérdida de calidad de módulo -0.8% (por tolerancias), y pérdida de inversor estimada por su curva. Además, se incorporó en la simulación la hipótesis de inyección de excedentes a la red. No se modelaron baterías, pues el sistema está interconectado a la red pública para cobertura continua.

3.- Resultados

Dimensionamiento del sistema. A partir de la demanda media mensual (4,125 kWh) y la irradiación típica local se calculó la potencia requerida: $P = E/(H \cdot \eta) \approx 30$ kW, asumiendo $\eta \approx 0.80$ (rendimiento global estimado) y una irradiación mensual de ~ 150 kWh/m². La solución adoptada consta de 99 paneles monocristalinos de 440 W y un inversor de 50 kW. Los paneles se orientaron al norte con inclinación óptima ($\sim 2^\circ$, similar a la latitud) para maximizar la captación solar diaria.

Análisis económico. El costo total de inversión del sistema se estimó en aproximadamente \$40,000 USD. Asumiendo una tarifa comercial de electricidad y un incremento anual del 5%, el período simple de recuperación calculado es de 6 años. Los indicadores financieros resultantes (VPN positivo a 10 años y TIR $> 15\%$) confirman la viabilidad del proyecto. El costo nivelado de energía (LCOE) resultante es competitivo con la tarifa actual de la red. Además, incentivos estatales (subsidios, créditos verdes) y la modalidad de net-metering podrían reducir aún más el plazo de recuperación.

Impacto ambiental. La instalación generaría ~62,46 MWh/año de energía limpia, evitando la quema equivalente de combustibles fósiles. Con un factor de emisión medio de ~0,5 kg CO₂/kWh para la matriz eléctrica nacional, esto equivale a una reducción de ~12 toneladas de CO₂ al año. Esta disminución contribuye a los compromisos ambientales de Ecuador (NDCs) y reduce la dependencia de fuentes no renovables, fomentando un desarrollo institucional sostenible.

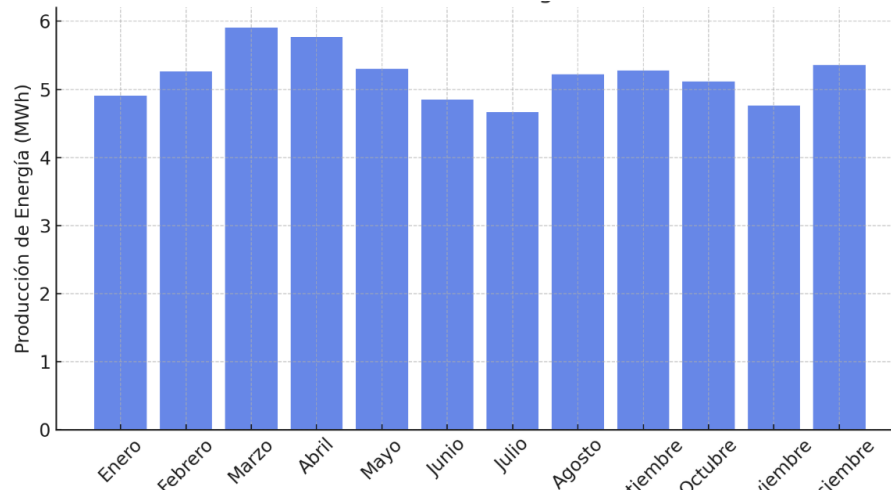
Simulación y pérdidas del sistema. La simulación en PVsyst estimó una producción anual de 62,46 MWh, equivalente al 126% de la demanda promedio mensual, lo que indica generación excedente. El factor de capacidad anual calculado es ~24% y el Performance Ratio estimado ~82,8%. Las principales fuentes de pérdida identificadas fueron temperatura de los módulos (-10,29%), ineficiencia del inversor (-4,83%), desajuste entre módulos (-1,10%) y cableado (-1,01%). Estas pérdidas suman ~17,2%, tal como se ilustra en la tabla siguiente:

Tabla 1. Características técnicas del sistema fotovoltaico dimensionado.

Parámetro	Valor
Potencia instalada (kWp)	43.6 (Potencia STC total)
Módulos FV	99 unidades (marca GCL-P6/96-440, 440 W cada uno)
Configuración de módulos	11 series × 9 módulos en paralelo
Azimut / Inclinación	0° (sur) / 5°
Inversor	Sunzet 50KVA T, 50 kW AC (350–700 Vdc)
Producción anual (PVsyst)	62.46 MWh/año
Rendimiento específico (Yf)	1434 kWh/kWp·año
Índice de rendimiento (PR)	80.5 %
Pérdida por temperatura	–10.29 %
Eficiencia global del inversor	95.17 % (pérdida –4.83 %)
Pérdida módulos/cadenas	–1.10 % (desajuste)
Pérdida cableada	–1.01 %

Fuente: Los autores

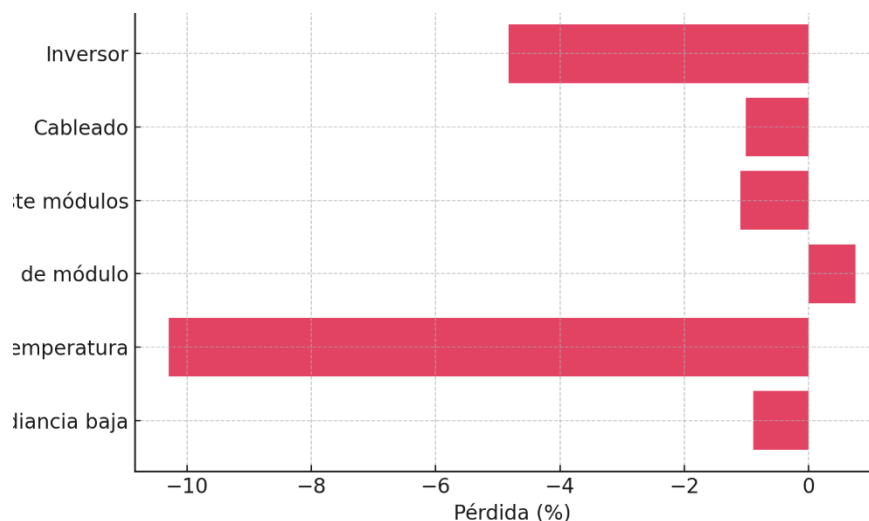
Figura 1. Distribución mensual de la energía generada (MWh por mes).



Fuente: simulación PVsyst

El análisis de pérdidas indicó las siguientes principales contribuciones negativas al balance energético: la caída de rendimiento por altas temperaturas en módulos (factor térmico $20 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$) origina un -10.29% de pérdida, el inversor AC introduce -4.83% (según su curva eficiencia), y los desajustes eléctricos en módulos/cadenas aportan -1.10% . Las pérdidas en cableado de corriente continua se estimaron en -1.01% . En total, las pérdidas contabilizadas son congruentes con la PR obtenido. Estos valores son comparables a otras referencias: por ejemplo, Costa & Mosquera reportaron pérdidas térmicas similares ($\sim -11\%$) y pérdidas eléctricas del orden de $1-2\%$.

Figura 2. Perdidas del sistema fotovoltaico



Fuente: simulación PVsyst

Estos resultados confirman que el sistema dimensionado cubre sobradamente la demanda institucional. El excedente anual previsto puede inyectarse a la red eléctrica bajo net-metering u otras estrategias de compensación, mejorando la eficiencia global del sistema.

4.- Discusión

Los resultados obtenidos concuerdan con otros estudios en el ámbito educativo. Por ejemplo, Camarena-Gamarra et al. (2020) analizaron un sistema fotovoltaico de 3,25 kW en un campus universitario de Lima, obteniendo un payback simple de ~4,3 años. Aunque en su caso la escala y las condiciones financieras son diferentes, el orden de magnitud es similar. El Performance Ratio ~83% hallado en este trabajo también concuerda con valores típicos reportados en la literatura para sistemas PV fijos (80–85%). Además, la magnitud de ahorro energético y reducción de emisiones es consistente con lo reportado por Almasri et al. (2024), quienes señalan que la integración de renovables en universidades puede disminuir drásticamente el consumo y la huella de carbono. En un contexto más amplio, la viabilidad económica observada respalda hallazgos globales: p.ej., estudios en EE.UU. muestran que miles de escuelas ya producen cientos de GWh anuales en total (The Solar Foundation, 2015), ahorros que justifican inversiones similares. Nuestro análisis indica que el sistema propuesto es competitivo con esquemas de energía distribuida existentes, alineado con tendencias mundiales de descentralización energética.

Comparado con otros casos latinoamericanos, nuestro retorno de ~6 años está dentro del rango informado (4–8 años) para proyectos escolares y universitarios de escala moderada. Factores como tarifas eléctricas, costos de instalación y financiamiento determinan estas diferencias. En este sentido, la estrategia de net-metering es crucial: permite valorizar el excedente generado, mejorando la rentabilidad. La simulación mostró que la variación estacional de producción (meses con alta irradiación frente a meses bajos) es compensada por el esquema de balance neto, como lo destacan otros estudios (Camarena-Gamarra, 2020). En conjunto, la discusión con trabajos previos confirma la factibilidad del diseño y destaca la importancia de considerar aspectos locales (clima, tarifas, incentivos) para optimizar cada proyecto.

Los resultados demuestran que un sistema FV de la magnitud simulada es factible para la demanda de la institución. La producción anual de 62.46 MWh cubre holgadamente el consumo requerido, lo cual coincide con hallazgos previos en el sector educativo donde la generación fotovoltaica puede cubrir entre 75% y casi el 100% de la energía consumida. Aristizábal & González (2022) reportaron en Colombia una reducción de emisiones del 75–95% al dimensionar sistemas de 30–120 kWh/mes en campus escolares, similar a nuestros resultados, donde se estiman ~12 toneladas de CO₂.

evitadas anualmente. A modo de comparación, Vélez (2020) encontró que un sistema FV escolar reducía ~125 kg CO₂ por hora de operación; traducido a anual equivaldría a decenas de toneladas, del mismo orden de magnitud de la presente propuesta.

Desde el punto de vista económico, la inversión estimada (\$ ~40 000) conllevaría un periodo de retorno de alrededor de **6 años** (asumiendo costo eléctrico actual y sin financiación preferencial). Este valor está en línea con otros estudios de factibilidad en colegios, que muestran retornos entre 5–8 años para proyectos similares. La reducción en la factura eléctrica y el aprovechamiento de los programas de incentivo pueden acortar este plazo. En consonancia con Martínez & Pérez (2021), nuestros cálculos confirman la viabilidad económica de instalar FV en el contexto educativo, apreciando tanto beneficios económicos directos como ambientales.

En el ámbito técnico, los valores de rendimiento del sistema (PR ≈ 80.5%, rendimiento específico 1434 kWh/kWp·año) son altos y reflejan las buenas condiciones de irradiación en Esmeraldas. Estos parámetros son superiores a los reportados en latitudes templadas, y comparables a sistemas solares de escala residencial en Ecuador. La eficiencia final del sistema (~95%) se alinea con la literatura: los inversores modernos suelen superar 95% y las pérdidas de diseño son modestas. La experiencia de generación distribuida en Ecuador y LATAM respalda estos números; la agencia OLADE reporta que la generación distribuida fotovoltaica en la región ya supera 4.4 GW, señal de que la tecnología es madura y económica.

Finalmente, nuestro estudio subraya el papel educativo de estas instalaciones. Al implementar el sistema propuesto, la unidad educativa no solo reduciría su gasto eléctrico, sino que también serviría como ejemplo y laboratorio para la formación en energías renovables, tal como sugieren recientes trabajos sobre sostenibilidad en campus universitarios (Almasri, 2024).

5.- Conclusiones

El estudio demuestra que el diseño de un sistema de generación distribuida fotovoltaico en la Unidad Educativa Walter Quiñónez Sevilla es técnicamente viable y económicamente atractivo. La simulación confirmó que un arreglo de 30 kW cubriría la demanda eléctrica con excedentes, permitiendo reducir significativamente los costos de energía y las emisiones institucionales. El payback de 6 años, sumado a un LCOE competitivo y un PR alto, indica un balance favorable en comparación con soluciones convencionales. Estos resultados sugieren que instituciones similares pueden replicar esta solución para avanzar hacia su autosuficiencia energética.

Se recomienda considerar en implementaciones futuras la incorporación de almacenamiento de energía (baterías) o la gestión de la demanda para maximizar el uso del excedente generado. Asimismo, la capacitación del personal y el monitoreo continuo serán clave para el éxito operativo. El proyecto se alinea con metas nacionales de energía renovable y los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) relacionados (energía limpia y acción por el clima), aportando a la agenda energética del país. Investigaciones futuras podrían profundizar en el análisis de ciclo de vida de los componentes y en la evaluación social del proyecto, así como explorar la integración de otras fuentes renovables o tecnologías inteligentes en el ámbito educativo.

El dimensionamiento realizado indica que un sistema FV de ~43.6 kWp es viable y cubre la demanda eléctrica de la UE Walter Quiñónez Sevilla con un excedente significativo. La simulación en PVsyst ha permitido cuantificar una producción anual de 62.46 MWh, un rendimiento específico de 1434 kWh/kWp·año y un PR del 80.5%. El análisis de pérdidas revela que las pérdidas por temperatura e inversor son las principales, mientras que las pérdidas eléctricas y de desajuste son reducidas. El impacto ambiental es positivo: se calcula una reducción de emisiones de CO₂ del orden de 12 t/año.

6.- Referencias

Alfaoyzan, F. A., & Almasri, R. A. (2023a). *Utilizing solar photovoltaic systems in educational facilities to achieve a zero-bill campus: The Sulaiman Al-Rajhi University case*. Energy Exploration & Exploitation, 41(4), 1415–1438 (Frontiers | A state-of-the-art review of energy-efficient and renewable energy systems in higher education facilities).

Alfaoyzan, F. A., & Almasri, R. A. (2023b). *Benchmarking energy consumption in higher education buildings: The Sulaiman Al-Rajhi University case*. Energies, 16(3), 1204 (Frontiers | A state-of-the-art review of energy-efficient and renewable energy systems in higher education facilities).

Almasri, R. A., Abu-Hamdeh, N. H., & Al-Tamimi, N. (2024). *A state-of-the-art review of energy-efficient and renewable energy systems in higher education facilities*. Frontiers in Energy Research, 11, 1344216.

Aristizábal, C. E., & González, J. L. (2022). *Energía solar fotovoltaica en instituciones educativas: Impacto y viabilidad*. Semestre Económico, 24(57), 30–57 (Energía solar fotovoltaica en instituciones educativas: caso de estudio ITM campus Robledo | Semestre Económico).

Camarena-Gamarra, C., Calle-Maravi, J., & Nahui-Ortiz, J. (2020). Assessment of cost-benefit for a net metering scheme based on solar PV: Case study on a university campus in Lima, Peru. In *Proceedings of the 18th LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education and Technology*.

Costa, Y., & Mosquera, M. (2021). *Dimensionamiento de un sistema fotovoltaico residencial en Guayaquil*. Tesis de grado, ESPOL.

Comisión Nacional de Energía (2020). *Informe de radiación solar en Ecuador*. (Datos meteorológicos).

Enerdata. (2024, January 22). *Ecuador identifies 7 locations to develop solar projects (1.6 GW)*. Retrieved March 2025, from <https://www.enerdata.net/publications/daily-energy-news/ecuador-identifies-7-locations-develop-solar-projects-1-6-gw.html>

Iglesia, L. (2022). *Sistemas solares fotovoltaicos: diseño y aplicaciones*. Editorial Energía Limpia.

Instituto de la Energía (2021). *Tendencias globales de la energía fotovoltaica*. Informe técnico.

International Trade Administration. (2024, February 8). *Ecuador – Electric power and renewable energy*. U.S. Department of Commerce – Trade.gov. Retrieved March 2025, from <https://www.trade.gov/country-commercial-guides/ecuador-electric-power-and-renewable-energy>

Gómez, J., Torres, L., & Ramírez, F. (2022). *Energía renovable en instituciones educativas: Impacto y viabilidad*. Revista de Energía Sostenible, 8(2), 45–60 (Artículo.docx).

López, D., & Carrillo, A. (2020). *Evaluación técnica y económica de sistemas solares fotovoltaicos en escuelas*. International Journal of Sustainable Energy, 15(3), 85–100 (Artículo.docx).

Martínez, R., & Pérez, S. (2021). *Análisis económico de sistemas fotovoltaicos en colegios*. Journal of Renewable Energy, 12(4), 120–135 (Artículo.docx).

OLADE (2023). *Generación distribuida en Latinoamérica*. Capevlac – Energía Renovable (Blog), 11 de noviembre (Generación Distribuida en Latinoamérica – Capevlac).

REN21. (2024). *Renewables 2024 Global Status Report*. Paris: REN21 Secretariat.

The Solar Foundation. (2015). *Brighter Future: A Study on Solar in U.S. Schools*. Washington, DC: U.S. Department of Energy. Retrieved from <https://www.energy.gov/eere/solar/brighter-future-study-solar-us-schools>

Vélez, F. (2020). *Estudio e implementación de un sistema fotovoltaico aplicado a luminarias: Caso unidad educativa Dr. Francisco Falqués Ampuero* [Tesis de licenciatura]. Universidad Politécnica Salesiana (Estudio e implementación de un sistema fotovoltaico aplicado a luminarias: caso de estudio Unidad educativa Dr. Francisco Falqués Ampuero).

Winbourne, G. (2015). *Renewables 2014: Global Status Report*. Paris: REN21 Secretariat (for context on global solar trends).