

ANÁLISIS DE MICRORRED PARA CUBRIR LA DEMANDA DE SERVICIOS GENERALES EN EL CAMPUS SUR UPS

Micro-grid analysis to meet general service demand on the South UPS campus

Luis Andrés Acosta Sánchez ¹	lacostas1@est.ups.edu.ec
Katherine Silvana Flores Almeida ²	kflores6@est.ups.edu.ec
Esteban Fernando Delgado Piedra ³	edelgadop4@est.ups.edu.ec
Edwin Marcelo García Torres ⁴	egarcia@ups.edu.ec

¹ Departamento de Ingeniería Eléctrica.

¹ Universidad Politécnica Salesiana Quito, Ecuador.

RESUMEN

El presente estudio propone el análisis de una Microrred fotovoltaica para abastecer los servicios generales en el Campus Sur de la Universidad Politécnica Salesiana. El modelo matemático empleado permite estimar la potencia generada por la fuente, y los costos de la energía de la red bajo condiciones reales de demanda, logrando una optimización técnico-económica. A través del software HOMER Pro, se simula distintos escenarios que integran generación solar, sistemas de almacenamiento e inversores, permitiendo comparar su comportamiento tanto en modalidad conectada a red como autónoma. Se determinó que la ubicación geográfica del campus ofrece niveles óptimos de irradiancia con 4.03 (kWh/m²/día), lo cual favorece la generación energética del sistema. Los resultados de la simulación evidencian el potencial de las microrredes para reducir la dependencia del sistema eléctrico convencional. Se identificó que el modo aislado de la red resulta más eficiente al representar un 34.82% de ahorro en costos de operación y tener un 9.92% de tasa de retorno de inversión en los próximo 6.94 años.

Palabras Clave: Microrred (MG), Costo de energía (COE), Red eléctrica, HOMER Pro, Optimización energética.

ABSTRACT

This paper presents the analysis of a photovoltaic microgrid to supply general services on the South Campus of the Salesian Polytechnic University. The mathematical model employed makes it possible to estimate the power generated by the source and the costs of grid energy under real demand conditions, achieving techno-economic optimization. Using HOMER Pro software, different scenarios integrating solar generation, energy storage systems, and inverters are simulated, allowing their performance to be compared in both grid-connected and standalone modes. It was determined that the geographical location of the campus offers optimal irradiance levels of 4.03 (kWh/m²/day), which favors the system's energy generation. The simulation results demonstrate the potential of microgrids to reduce dependence on the conventional electrical system. It was identified that the off-grid mode is more efficient, as it represents a 34.82% reduction in operating costs and a 9.92% return on investment over the next 6.94 years.

Keywords: Microgrid (MG), Cost of Energy (COE), Power grid, HOMER Pro, Energy Optimization.

► I. Introducción

Una Microrred (MG) es un sistema de energía a pequeña escala para satisfacer la demanda de una carga. Esta generación de energía puede venir de fuentes no renovables que producen emisiones y renovables para un desarrollo energético sostenible [1].

El acceso a la electricidad se ha convertido en algo esencial para el funcionamiento de cualquier aparato electrónico, comunicaciones y desarrollo de trabajo, cuando se depende de generación convencional estamos sujetos a una red [2]. Si la Microrred, funciona en conjunto con la red eléctrica este sistema es on grid, el sistema off grid es autónomo, dado que no está conectado a la red por lo que requiere de un sistema de almacenamiento de energía (BESS). Para que se considere una MG, esta debe poseer una fuente de alimentación, con acceso a componentes de generación, transmisión y distribución [3].

Un sistema MG que utiliza energías limpias como fuente de generación, brinda electricidad eficiente, sostenible, sin emisiones y de bajo costo en puntos donde no se dispone de transmisión de red o se desea reducir la dependencia de sistemas tradicionales. Para satisfacer la necesidad de energía sin interrupciones las MG utilizan un sistema BESS cuyo dimensionamiento permite cubrir la demanda de la carga proyectada cuando se produzcan desconexiones o falta de electricidad de la distribuidora [3] [4].

Un campus universitario se convierte en un objeto de estudio favorable para la prueba de una MG con fuentes fotovoltaicas. Por ejemplo, [5] desarrolló un caso de estudio de la implementación de una MG en el campus de la Universidad de Campinas en Brasil (UNICAMP). El campus de la UNICAMP tiene una demanda de 3MW. Actualmente cuenta con una MG para el Gimnasio y Centro de Convenciones con una capacidad fotovoltaica de 336.96 kWp instalado sobre el techo. El estudio plantea aumentar 600 kWp para las instalaciones de la Biblioteca Central, Cancha Polideportiva, Alumbrado público, Facultad de Educación Física con su campo de juego y dos enfriadores de 70 TR, con un sistema de respaldo BESS de entre 525 a 810 kWh [5].

Para nuestro caso de estudio, aprovechar el buen nivel de irradiancia solar que posee el país permite garantizar la fiabilidad de una MG. El desarrollo de una MG autosustentable es el inicio para tener una infraestructura energética sólida. Dado que las instalaciones eléctricas críticas de una institución deben funcionar de forma continua [6].

► II. Metodología

El presente trabajo modela una MG en el software de simulación HOMER Pro, este permite conocer la cantidad de recursos necesarios para cubrir la demanda de carga de servicios generales del campus sur de la Universidad Politécnica Salesiana (UPS) y generar puntos de carga para dispositivos móviles. El análisis mediante software proporciona una visión de posibles escenarios de generación fotovoltaica e implementación de BEES. Una estimación correcta de un modelo MG permite una optimización cuyo objetivo es la minimización de costos netos de electricidad con la menor cantidad de medios empleados [1][7].

A. Modelo en el software de simulación

El software HOMER por sus siglas en inglés (Hybrid Optimization of Multiple Energy Resources), es una plataforma para realizar estimaciones complejas de costos de fabricación de Microrredes, sistemas híbridos y conectados a la red que integran generadores convencionales y de energías renovables, almacenamiento de energía y gestión de carga. Permite comparar varias combinaciones de sistemas y varias de elementos para optimizar opciones de menor costo para los sistemas de energía como se observa en la Fig. 1 [8].

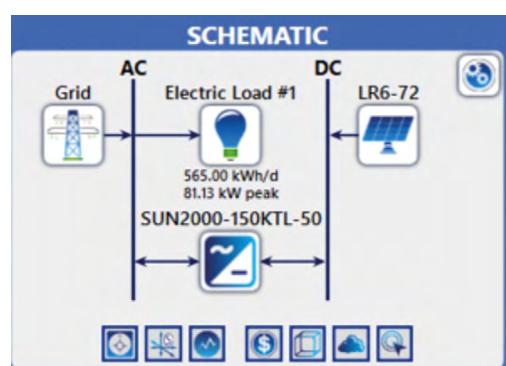


Fig. 1. Esquemático de una MG en el Software HOMER Pro [8]

Como primer paso es necesario estimar el dato de la carga a ingresar en HOMER. En la Tabla I se observa el consumo eléctrico mensual del campus Sur de la Universidad Politécnica Salesiana.

B. Modelo matemático

Ecuador es una región con grandes altitudes que se encuentran entre los 2000 y 3200 m.s.n.m., teniendo una media máxima de radiación solar de 5,03 (kWh / m² / día) y una mínima de 4,34 (kWh / m² / o día). Ecuador al contar con varios pisos climáticos y al estar en el centro del mundo goza de grandes y lineales niveles de radiación durante todo el año. En comparación con otros países se tiene un dato medio anual de 4,37 (kWh / m² / día) según menciona [9] en su investigación.

Tabla. I. CONSUMO ELÉCTRICO TEÓRICO CAMPUS SUR [18]

Nombre Área	Consumo eléctrico mensual (kWh)
Auditorio Padre José Carollo	983.89
Aula Magna	993.89
Bloque A	5,714.40
Bloque B	20,073.47
Bloque C	18,217.47
Bloque D	35,536.71
Bloque E	5,664.43
Bloque F	10,327.19
Bloque G	15,226.24
Bloque H	26,413.50
Bloque I	13,191.70
Bodega-Oratoria	2,782.15
Estación Meteorológica	95.10
Parqueadero Bloque B	3,610.29
Parqueadero Bloque F	3,610.29
Parqueadero Bloque G Cafetería	3,610.29
Parqueadero Rumichaca	3,610.29
Talleres Mecánica Automotriz	4,807.04

Al tener este potencial de energía renovables en el país, se opta por utilizar módulos fotovoltaicos como fuente de generación para realizar el análisis de este caso de estudio. La potencia de salida del sistema para un generador fotovoltaico P_{pv} se representa con la Ec. 1 misma que se utiliza en la simulación y control de las MG:

$$P_{pv} = \eta_g \cdot N_{pv} \cdot A_m \cdot G_t. \quad (1)$$

donde η_g , representa la eficiencia del generador, N_{pv} el número de módulos del sistema, A_m el área del módulo en metros cuadrados y G_t la irradiancia global incidente en kWh/m². En la Fig. 2 se observa la curva que representa el promedio de irradiancia solar las 24 horas del día. En el sector del campus Sur de la UPS en la ciudad de Quito ubicado en las calles Morán Valverde y Rumichaca Ñan con latitud -0.2821 y longitud -78.5499.

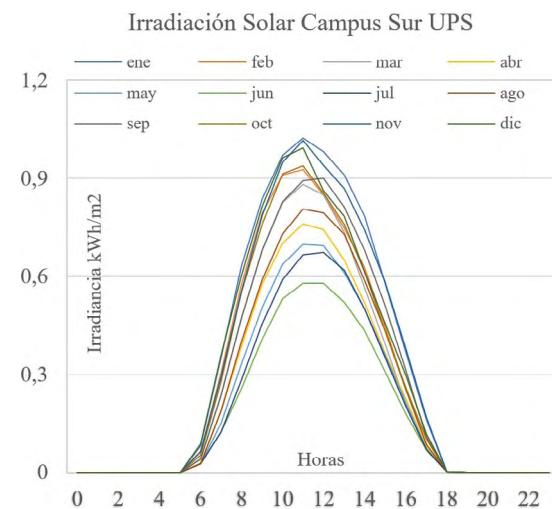


Fig. 2. Niveles de irradiancia solar para el Campus Sur UPS tomados de Renewables ninja [19]

La creación de una MG, busca dar respuesta a la demanda, para ello se necesita conocer el costo de importación y exportación de la energía, mismas que están en las representadas en la Ec. 2 y Ec. 3. Estas ecuaciones sirven para realizar un contraste de la contribución al balance entre generación-demanda y el beneficio económico que la Microrred puede tener en el Campus Sur. Con la reducción de la factura y aumento del confort o proceso producto del entorno donde se instalará el sistema [10].

$$CEI = GC_t(PD_t) \quad (2)$$

donde CEI representa el costo de la energía importada de la red principal en (\$/h), GC_t es la tarifa de compra de energía a la red en el intervalo de tiempo y PD_t la cantidad de potencia deficitaria del intervalo de tiempo.

$$CEE = GV_t(PS_t) \quad (3)$$

Además, cuando la Microrred es capaz de generar energía que cubra la demanda tenemos que *CEE* representa el valor de venta de la energía exportada a la red principal en (\$/h), GV_t es la tarifa de venta de energía a la red en el intervalo de tiempo y PS_t la cantidad de potencia de superávit del intervalo de tiempo.

Finalmente, la creación de una MG exige tener un modelo de optimización, donde se busca maximizar los beneficios del sistema, pero minimizando los costos que implican la aplicación de esta Microrred. La Ec. 4 representa la función objetivo del modelo final de costos para este sistema [11].

$$CF(P) = \sum_{i=1}^N (OM_i (P_i) + CEI - CEE) \quad (4)$$

donde $CF(P)$ es el costo de operación de la MG (\$/h), $OM_i (P_i)$ es el costo de operación y mantenimiento del sistema fotovoltaico, sumando el valor de *CEI*, restando el dato de *CEE* y N representa el número de módulos fotovoltaicos distribuidos.

También se debe considerar restricciones para que el sistema funcione correctamente, la primera Ec. 5 es la potencia máxima que va a suministrar la red. De igual forma la segunda Ec. 6 tiene que ver con el balance de potencia, donde $\sum_{i=1}^N P_i$, es la suma total de potencia generada por recursos energéticos distribuidos (DER) de fuentes no convencionales. Dado que, P_L , es la potencia de la carga, P_{PV} , la potencia del arreglo fotovoltaico, P_{DS} , la potencia del sistema de almacenamiento y P_G , potencia deficitaria importada de la red, cuando opera en modo on grid [12].

$$P_i^{min} \leq P_i \leq P_i^{max} \quad (5)$$

$$\sum_{i=1}^N P_i = P_L - P_{PV} - P_{DS} - P_G \quad (6)$$

La metodología para el dimensionamiento de la MG en el Campus Sur de la UPS se encuentra estructurada en ciclos secuenciales apoyada en el uso del software HOMER Pro para su optimización. En síntesis, es necesario

configurar los datos de la carga, seleccionar los elementos del sistema, Panel fotovoltaico, Inversor/Controlador y BESS. Finalmente, HOMER evalúa la viabilidad técnico-económica con diferentes combinaciones de elementos para conformar diferentes sistemas, el procedimiento que vamos a aplicar se resume en el flujo de la Fig. 3 [13].

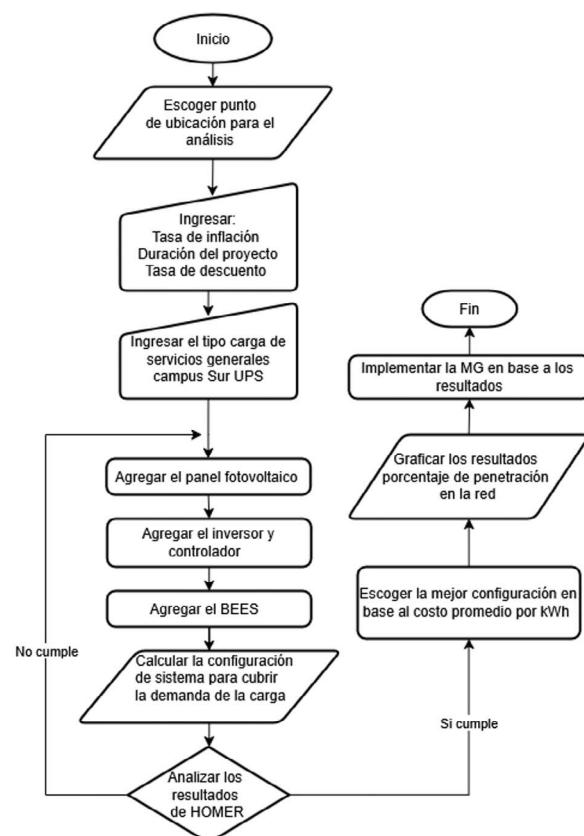


Fig. 3. Flujo de trabajo para la metodología de diseño de la MG.

C. Modelo del sistema

En esta sección, se describe todos los componentes que integran la MG a diseñar, entre todos ellos se encuentran la carga, los paneles fotovoltaicos (PV), componentes de conversión de energía, almacenamiento de energía, la distribución y control [14].

Se diseña la Microrred con un sistema fotovoltaico como fuente principal de generación, gracias a el alto nivel de irradiancia promedio registrada en la ubicación del campus siendo su valor 4.03 (kWh / m² / día) según datos de la NASA [15].

El modelamiento de la microrred considera los siguientes componentes:

D. Modelo de carga

Se modela una demanda base característica de los servicios generales del campus Sur y se considera consumos típicos diarios relacionados con:

- Iluminación
- Sistemas de seguridad y videovigilancia

La estimación de la carga se presenta en la Tabla II, se realiza en base a extrapolaciones de consumos típicos en ambientes universitarios similares como se observa en [16]. Se utiliza la curva horaria de un día para obtener un estimado promedio mensual de las diferentes áreas de la universidad. Se considera un tipo de consumo comercial, es decir, mayor carga durante el día y una reducción del consumo en la noche.

Para impulsar el uso de energía renovable y ofrecer espacios de carga de equipos electrónicos, se propone incorporar estaciones de carga alimentadas directamente con la MG. Se plantea la instalación de 3 estaciones de carga en áreas comunes dentro del campus. Se estima que la demanda de las estaciones de carga sea de 120 kWh al mes de acuerdo con la estimación de consumo promedio por enchufe por edificio encontrada en la investigación de la Universidad de Stanford [17].

Tabla. II. ESTIMACIÓN DE CONSUMO EN DIFERENTES ÁREAS DEL CAMPUS SUR.

Área- Servicios Generales	Consumo eléctrico mensual (kWh)
Iluminación Áreas Verdes	540.0
Iluminación Parqueaderos	14,400.0
Iluminación Canchas	270.0
Iluminación Interior	900.0
Seguridad y CCTV	720.0
Total	16,830.0

Para la simulación se considera un consumo total diario, sumando el consumo de los servicios generales y las estaciones de carga propuestas y realizando un promedio diario, se obtiene mediante la Ec. 7:

$$\text{Demanda: } \frac{16,830 + 120}{30} = 565 \text{ kWh / día} \quad (7)$$

Para la modelación en HOMER Pro, se utiliza un tipo de carga comercial, que considera la mayor actividad durante el día y una demanda que reduce en las noches. En la Tabla III se presenta la configuración inicial de la carga eléctrica expresada en kWh diaria.

Tabla. III. PARÁMETROS DE DEMANDA PROMEDIO DIARIA DE SERVICIOS GENERALES Y ESTACIONES DE CARGA.

Metric	Baseline	Scaled
Average (kWh/day)	2,424.2	565
Average (kW)	101.01	23.54
Peak (kW)	348.08	81.13
Load factor	0.29	0.29
Load Type	AC	
<i>Scaled Annual Average (kWh/day)</i>	<i>565.0</i>	

E. Modelado de la planta fotovoltaica

El Sistema fotovoltaico se incorpora en HOMER Pro. Se configura que los paneles fotovoltaicos sean dimensionados por el software para optimizar el diseño. En la Tabla IV se presenta los parámetros principales del panel que se utiliza en la simulación.

Tabla. IV. PARÁMETROS DEL PANEL FOTOVOLTAICO UTILIZADO

Properties	
Name	LONGi Solar LR6-72
Abbreviation	LR6-72
Panel type	Flat plate
Rated Capacity (kW)	0.350
Temperature Coefficient	-0.410
Operating Temperature (°C)	47
Efficiency (%)	181
Manufacturer	LONGi Solar Technology Co Ltd
Mono	26.5 kg
Footprint	1.938396 m2

F. Modelado de BESS

Se establece que para el almacenamiento de energía se debe colocar un BESS en HOMER Pro. Se configura que los BESS sean dimensionados por el software para optimizar el diseño. En la Tabla V se presenta los parámetros principales del BESS que se utiliza en la simulación.

Tabla. V. PARÁMETROS DEL BESS

Properties	
Name	SmartLi-672V-100AH-F/S
Nominal Voltage (V)	48
Nominal Capacity (kWh)	4.8
Nominal Capacity (Ah)	100
Roundtrip efficiency (%)	96
Maximum Charge Rate (A/Ah)	1
Maximum Charge Current (A)	100
Maximum Discharge Current (A)	100

G. Modelado de Inversor

Para la modelación del inversor en HOMER Pro. Se configura que los inversores sean dimensionados por el software para optimizar el diseño. En la Tabla VI se presenta los parámetros del inversor que se utiliza en la simulación.

Tabla. VI. INVERSOR PARA SIMULACIÓN

Properties	
Name	Huawei SUN2000-150KTL-50
Abbreviation	SUN2000-150KTL-50
Huawei Technologies Co. Ltd	

» III. Resultados

Se plantea dos posibles escenarios que se detallan a continuación:

- Microrred propuesta conectada a la red
- Microrred propuesta autónoma sin conexión a la red

A. Microrred propuesta conectada a la red

En este escenario, la microrred se encuentra conectada a la red de la empresa eléctrica. En este caso la MG funciona en conjunto con la red eléctrica, esto permite que la microrred no utilice un sistema BESS y se presenta una dependencia compartida de la red eléctrica convencional.

En la Tabla VII se observa el resultado de la simulación para la microrred conectada a la red eléctrica y los componentes que se debe instalar.

Tabla. VII. DIMENSIONAMIENTO OPTIMO DE MICRORRED CONECTADA A LA RED

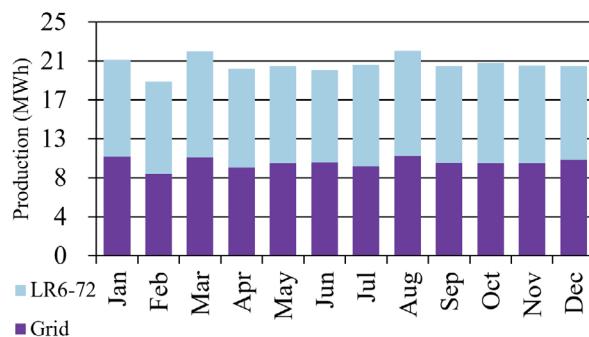
Equipo	Inversor	Paneles	Baterías
Capacidad	32.2 [kW]	102 [kW]	-
Producción anual energía		126,378 [kWh/yr]	

Los principales indicadores económicos son el Costo actual neto (NPC), el costo de la energía (COE) y el costo de operación que se detallan en la Tabla VIII.

Tabla. VIII. INDICADORES ECONÓMICOS DE LA IMPLEMENTACIÓN DE LA MICRORRED CONECTADA A LA RED

Total NPC:	\$264,184.60
Levelized COE:	\$0.0907
Costo de Operación:	\$17,984.67

A continuación, se presenta un resumen de la producción de energía anual que tiene la propuesta de la microrred conectada de la red eléctrica. En la Fig. 4 se observa, que la energía producida por el sistema fotovoltaico alcanza un 51.4 % de la energía que demanda la microrred del campus Sur, por tanto, se consume un 48.6 % de energía desde la red eléctrica.

**Fig. 4. Producción de energía anual en la microrred conectada a la red.**

B. Microrred propuesta autónoma sin conexión a la red

En este escenario, la microrred se encuentra operando de forma aislada con un respaldo de baterías, pero sin dejar de lado la red eléctrica es decir un sistema híbrido. Esto permite que la microrred sobredimensione el sistema de los BESS para cubrir casi en su totalidad toda la demanda de la carga si no tenemos energía de la red principal.

En la Tabla IX se observa el resultado de la simulación para la microrred autónoma y los componentes que se debe instalar.

Tabla. IX. DIMENSIONAMIENTO OPTIMO DE MICRORRED AISLADA DE LA RED

Equipo	Inversor	Paneles	Baterías
Capacidad	26.7 [kW]	169 [kW]	107 strings
Producción anual energía		254,810 [kWh/yr]	

Los principales indicadores económicos para este caso son el NPC, COE y costo de operación se detallan en la Tabla X.

Tabla. X. INDICADORES ECONÓMICOS DE LA IMPLEMENTACIÓN DE LA MICRORRED AISLADA DE LA RED

Total NPC:	\$230,308.90
Levelized COE:	\$0.0699
Costo de Operación:	\$13,736.52

A continuación, se presenta un resumen de la producción eléctrica anual que tiene la propuesta de la microrred aislada de la red eléctrica. En la Fig. 5 se presenta que, la energía producida por el sistema fotovoltaico alcanza un 72.1 % de la energía que demanda la microrred del campus Sur, por tanto, se consume un 27.9 % de energía desde la red eléctrica.

C. Análisis de Resultados

En la Tabla XI se muestra el análisis económico de la simulación. En un escenario conectado a la red la inversión inicial es menor y se reduce el COE. El valor promedio de costo de energía eléctrica en Ecuador es de 0.1022 y disminuye a 0.0979. Por otro lado, en el escenario de microrred aislada se compensa la alta inversión inicial garantizando la operación de la MG hasta en un 72.1% de capacidad de la demanda y reduciendo el COE a 0.0699.

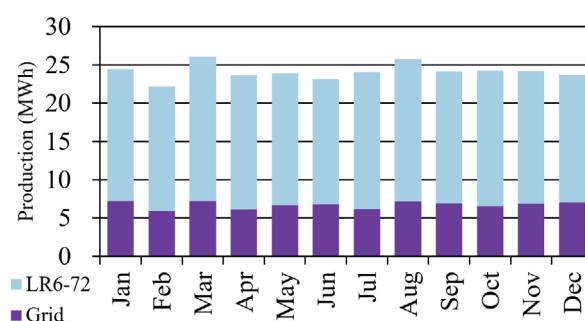


Fig. 5. Producción de energía anual en la microrred aislada.

Tabla. XI. COMPARACIÓN DE SISTEMAS PROPUESTOS

Indicador	MG aislado	MG conectado a la red
Tiempo de Recuperación	6.94 años	10.2 años
Retorno de inversión	9.92%	5.76%
Inversión de capital	\$52,730	\$31,687
Ahorro anualizado	\$7,340	\$3,092

En el análisis temporal, los años necesarios para recuperar la inversión son diferentes. La microrred aislada necesita aproximadamente de 6.94 años con un retorno de inversión del 9.92%. Por otro lado, en el escenario con conexión a la red el tiempo para recuperar la inversión incrementa hasta 10.2 años con una tasa de retorno más baja de 5.76%.

Los costos de operativos de energía para la demanda promedio calculada de 545 kWh/día representan 21,076 dólares. Para una MG autónoma representa un ahorro del 34.82% y para una MG conectada a la red el ahorro corresponde al 14.67% como se observa en la Tabla XII.

Tabla. XII. COMPARACIÓN COSTOS DE OPERACIÓN DE LA RED

Indicador	MG aislado	MG conectado a la red
Costo Anual	\$21,076	\$21,076
Reducción costo anual	\$13,737	\$17,985
Porcentaje de ahorro	34.82%	14.67%

Finalmente, se encuentra una limitante al estar condicionado a los elementos que posee la biblioteca de HOMER Pro. Por lo que se propone buscar elementos que se encuentren disponibles en su país. Para poder realizar una posible implementación en caso de obtener una buena optimización del sistema.



IV. Conclusiones

Se concluyó que la implementación de una MG fotovoltaica en el Campus Sur de la UPS es técnicamente viable teniendo un valor promedio aceptable de irradiancia en la zona de 4.03 (kWh / m² / día). El uso de HOMER Pro permitió evaluar distintos escenarios de operación, se identificó que la MG en modo aislado resulta más eficiente al representar un 34.82% de ahorro en costos de operación y tener un 9.92% de tasa de retorno de inversión en un menor tiempo.

La microrred diseñada produce 254,810 [kWh/yr] cubriendo de manera óptima la demanda de servicios generales y estaciones de carga, garantizando suministro eléctrico con fuentes renovables ante cortes de energía. El estudio sienta

un precedente para futuras implementaciones de microrredes en entornos académicos al reducir el COE de 0.1022 a 0.0699, con potencial de réplica en otras instituciones.

➤ VII. Referencias

- [1] E. González, D. Gualotuña, and J. F. Quinteros Flores, "Diseño de una Micro-Red óptima mediante el uso del recurso solar fotovoltaico en la Universidad Politécnica Salesiana – Campus Sur, utilizando el software HOMER PRO," *Revista de I+D Tecnológico*, ISSN-e 2219-6714, ISSN 1680-8894, Vol. 18, No. 2, 2022 (Ejemplar dedicado a: Revista de I+D Tecnológico), págs. 109-123, vol. 18, no. 2, pp. 109–123, 2022.
- [2] A. Saxena, P. Yakaiah, B. Pravallika, S. Ahmed, G. Nijhawan, and B. Rajalakshmi, "Comparative Impact of Wind and Photovoltaic Energy Integration on Isolated Microgrid Self-Sufficiency and Load Management," *Proceedings of International Conference on Communication, Computer Sciences and Engineering, IC3SE 2024*, pp. 668–673, 2024, doi: 10.1109/IC3SE62002.2024.10593349.
- [3] M. Simonazzi, N. Delmonte, P. Cova, and R. Menozzi, "Models for MATLAB Simulation of a University Campus Micro-Grid," *Energies* 2023, Vol. 16, Page 5884, vol. 16, no. 16, p. 5884, Aug. 2023, doi: 10.3390/EN16165884.
- [4] et al., "Implementation of Microgrid on the University Campus of UNICAMP- Brazil: Case Study," *Journal of Electronics and Advanced Electrical Engineering*, vol. 1, no. 2, pp. 21–25, 2021, doi: 10.47890/jeaee/2020/rodolfoquadros/11120009.
- [5] R. Quadros, J. L. Jucá, J. G. I. Cypriano, R. P. B. da Silva, L. C. P. da Silva, and R. G. Bento, "Implementation of Microgrid on the University Campus of UNICAMP- Brazil: Case Study," *Journal of Electronics and Advanced Electrical Engineering*, vol. 1, no. 2, pp. 21–25, 2021, doi: 10.47890/jeaee/2020/rodolfoquadros/11120009.
- [6] A. Cagnano, E. De Tuglie, and P. Mancarella, "Microgrids: Overview and guidelines for practical implementations and operation," *Appl Energy*, vol. 258, p. 114039, Jan. 2020, doi: 10.1016/J.APENERGY.2019.114039.
- [7] S. Bracco, F. Delfino, F. Foiadelli, and M. Longo, "On the integration of solar PV and storage batteries within a microgrid," *Proceedings - 2019 IEEE International Conference on Environment and Electrical Engineering and 2019 IEEE Industrial and Commercial Power Systems Europe, EEEIC/I and CPS Europe 2019*, Jun. 2019, doi: 10.1109/EEEIC.2019.8783861.
- [8] "HOMER - Híbrido Software de Diseño de Sistemas de Generación Renovables y Distribuidas." Accessed: Jul. 31, 2025. [Online]. Available: <https://www.homerenergy.com/products/pro/index.html>
- [9] R. C. Echegaray-Aveiga, M. Masabanda, F. Rodriguez, T. Toulkeridis, and F. Mato, "Solar Energy Potential in Ecuador," *2018 5th International Conference on eDemocracy and eGovernment, ICEDEG 2018*, pp. 46–51, Jun. 2018, doi: 10.1109/ICEDEG.2018.8372318.
- [10] S. Bracco, M. Brignone, F. Delfino, and R. Procopio, "An energy management system for the savona campus smart polygeneration microgrid," *IEEE Syst J*, vol. 11, no. 3, pp. 1799–1809, Sep. 2017, doi: 10.1109/JSYST.2015.2419273.
- [11] N. T. Uruchi et al., "Techno-Economic Optimization of an Isolated Solar Microgrid: A Case Study in a Brazilian Amazon Community," *Eng* 2025, Vol. 6, Page 133, vol. 6, no. 7, p. 133, Jun. 2025, doi: 10.3390/ENG6070133.
- [12] S. E. Saukh and A. V. Borysenko, "MATHEMATICAL MODEL OF A FLEXIBLE MICRO GRID INTEGRATED INTO THE COUNTRY GRID," 2023. doi: <https://doi.org/10.15407/techned2023.02.061>.
- [13] J. A. Shaikh, N. H. Mirjat, Z. A. Memon, S. A. Shan, and S. A. Shaikh, "Optimization of renewable energy based microgrid for Mehran UET Jamshoro," *J Phys Conf Ser*, vol. 1860, no. 1, Apr. 2021, doi: 10.1088/1742-6596/1860/1/012022.
- [14] J. Sreedhar, N. Ashish, P. U. Kumar, V. Pravallika, and N. G. Reddy, "Control of Solar and Wind Battery Storage Based Micro Grid Using Simulation," *2024 IEEE International Conference on Information Technology, Electronics and Intelligent Communication Systems, ICITEICS 2024*, 2024, doi: 10.1109/ICITE-ICS61368.2024.10625533.

- [15] “NASA POWER | Data Access Viewer (DAV).” Accessed: Dec. 09, 2025. [Online]. Available: <https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/>
- [16] “Vista de Eficiencia Energética en la Universidad Católica sede Azogues un enfoque de implementación técnico – económico basado en energía solar | Revista Técnica ‘energía.’” Accessed: Dec. 07, 2025. [Online]. Available: <https://revistaenergia.cenace.gob.ec/index.php/cenace/article/view/420/660>
- [17] M. Hafer, “Quantity and electricity consumption of plug load equipment on a university campus,” *Energy Effic*, vol. 10, no. 4, pp. 1013–1039, Aug. 2017, doi: 10.1007/S12053-016-9503-2/TABLES/4.
- [18] P. A. Játiva Morejón, “Diseño de una infraestructura de datos espaciales ambientales del Campus Sur de la Universidad Politécnica Salesiana - fase 1,” 2020, Accessed: Dec. 07, 2025. [Online]. Available: <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/19199>
- [19] “Renewables.ninja.” Accessed: Dec. 07, 2025. [Online]. Available: <https://www.renewables.ninja/>