

Estudio de la viabilidad para la integración de una microrred en un edificio residencial

Feasibility study for the integration of a microgrid in a residential building

Felipe García¹, Irving Guevara¹, Andy Toctaguano¹, Marcelo García¹
¹Universidad Politécnica Salesiana, Facultad de Ciencia y Tecnología, Ecuador

Fecha de recepción: 11 de julio de 2024. **Fecha de aceptación:** 10 de octubre de 2024.

***Autor de correspondencia:** e-garcia@ups.edu.ec

Resumen. En el presente proyecto se propone un sistema energético híbrido entre generación convencional de la red eléctrica pública y la generación renovable para un edificio residencia ubicado en Quito en la avenida Amazonas y Naciones Unidas. El estudio demuestra su viabilidad técnica y económica. El sistema fue modelado por medio del software de optimización híbrido HOMER Pro, especificando en la optimización de los sistemas híbridos donde el modelo demostró que el sistema tiene la capacidad de satisfacer la demanda energética del edificio de una manera eficiente y confiable, teniendo beneficios como un ahorro económico al reducir los costos energéticos a largo plazo, además de un desarrollo sostenible pudiendo reducir la dependencia de los combustibles fósiles, y siendo amigable con el medio ambiente, sin emitir gases de efecto invernadero, siendo una solución viables y sostenible para las electrificaciones en los edificios residenciales en Quito. Para el sistema se utilizó al máximo los recursos disponibles aprovechando el espacio de la terraza del edificio para instalación de paneles fotovoltaicos, además se instaló un generador eléctrico a gas con cogeneración de calor y potencia (CHP), el cual permite aprovechar el calor residual del proceso para proporcionar agua caliente de uso sanitario al edificio, lo que se traduce en un mayor ahorro de costos y energía.

Palabras clave. Microrred, optimización, sistema híbrido, software HOMER Pro.

Abstract. This project proposes a hybrid energy system between conventional generation from the public electrical network and renewable generation for a residence building located in Quito on Amazonas and United Nations Avenue. The study demonstrates its technical and economic feasibility. The system was modelled through the hybrid optimization software Homer Pro, specifying in the optimization of hybrid systems where the model demonstrated that the system has the capacity to satisfy the energy demand of the building in an efficient and reliable way, having benefits such as an economic savings by reducing energy costs in the long term, in addition to sustainable development, being able to reduce dependence on fossil fuels, and being friendly to the environment, without emitting greenhouse gases, being a viable and sustainable solution for electrifications in residential buildings in Quito. For the system, the available resources were used to the maximum, taking advantage of the space on the building's terrace for the installation of photovoltaic panels. In addition, a gas-fired electric generator with cogeneration of heat and power (CHP) was installed, which makes it possible to take advantage of the residual heat of the process to provide hot water for sanitary use to the building, which results in greater cost and energy savings.

Keywords. Microgrid, optimization, hybrid system, HOMER Pro software.

1. Introducción

En el Ecuador es necesario la creación de un entorno favorable y sostenible para satisfacer las necesidades energéticas presentes sin comprometer a la capacidad de generación eléctrica futura. Un gobierno eficiente podría promover la iniciativa de creación de microrredes [1], las que

pueden operar de forma independiente o conectarse a red eléctrica principal, optimizando y gestionando el consumo energético local, dicha iniciativa se puede dar por medio de la colaboración entre el sector privado y el público, impulsando así soluciones energéticas sostenibles, eficientes y confiables,

presentando un enfoque descentralizado para el panorama actual de Ecuador [2].

Según [3] señala que la generación de energía eléctrica por medio de combustibles fósiles llegará a su fin, y con esto se obliga a buscar alternativas sostenibles para satisfacer la demanda energética, diversificando las fuentes energéticas. Tras este escenario se deberá buscar una alternativa para poder satisfacer la demanda energética, una posible solución es el uso de la energía renovable, numerosas regiones del planeta han adoptado este recurso tanto en el ámbito industrial como el doméstico, proporcionando energía limpia [4].

Con el objetivo de alcanzar un desarrollo sostenible, los países desarrollados toman medidas proactivas para disminuir su dependencia de combustibles fósiles, encontrándose a la vanguardia en alternativas de fuentes energéticas que protejan el medio ambiente, garantizando un futuro próspero. De acuerdo con la agencia internacional de energía [5], explican que China se ubica como líder mundial en el desarrollo de energías renovables, seguida por la Unión Europea, convirtiéndose en referentes mundiales en la transición de esta energía.

A nivel global la energía fotovoltaica y la energía eólica se han posicionado como las fuentes de energía renovable más competitivas y penetrantes, al ofrecer ventajas como reducir las corrientes que atraviesa los conductores y en consecuencia disminuir las pérdidas en el sistema de distribución, además de esto presentando beneficios, si se habla de su implementación, producción de energía y mantenimiento, siendo así una gran promesa para el futuro energético [6].

Numerosos estudios avalan el uso de la energía fotovoltaica en conexiones residenciales gracias a sus características como, la naturaleza estática de sus componentes, los bajos costos de mantenimiento, la variedad de ventajas en su instalación, flexibilidad e instalación entre otras ventajas [7].

Esta realidad ha dado lugar a un análisis de un estudio más profundo en la generación distribuida, las microrredes ofrecen una variedad de modos de operación pudiendo ser aislada o interconectada con la red principal, según las diferentes necesidades del entorno [8], si se habla de la configuración las microrredes pueden integrar múltiples fuentes de energía, como energías renovables junto con generadores tradicionales siendo sistemas altamente personalizables, en la práctica comúnmente se asocian a las microrredes como sistemas que hacen uso de energía renovable, que favorecen a mejorar la eficiencia energética, generación distribuida, reducción de pérdidas dentro de los sistemas energéticos, disminución de CO₂ a la atmósfera [9].

Es decir, las microrredes son piezas fundamentales para el futuro energético de las sociedades, teniendo el potencial de transformar el panorama energético actual por su tecnología versátil, en un panorama sostenible pudiendo así optimizar el uso de la energía [10].

En el presente proyecto se explora la implementación de una microrred, entre generación convencional de la red eléctrica pública y la generación renovable para un edificio residencial ubicado en la ciudad de Quito en las calles avenida Río Amazonas y avenida Naciones Unidas, considerando tanto los aspectos técnicos como los económicos, para ello se hace uso del software HOMER Pro que permite evaluar la viabilidad del proyecto.

Se propone un análisis detallado de la demanda energética, teniendo presente el consumo individual de cada departamento como áreas comunes, así como los recursos renovables disponibles, planeando utilizar el calor del proceso de electricidad a gas natural para poder producir agua caliente sanitaria y abastecer al edificio pudiendo determinar así, cuál es el rendimiento de la microrred, esperando que el trabajo resulte en una reducción de costos energéticos, una mayor sostenibilidad, una mejora en la confiabilidad energética, y siendo amigable con el medio ambiente.

2. Metodología

Para la realización del proyecto se empezó con una recolección de información con el fin de poder sentar las bases para el desarrollo del proyecto, como son las características del edificio y el alcance del proyecto disponiendo de la siguiente información.

El edificio está ubicado en la Avenida Río Amazonas y Avenida Naciones Unidas, en el sector centro de la capital ecuatoriana (figura 1), siendo un edificio residencial de 11 pisos (figura 2), con una altura aproximada de 35 metros, proyectada un área total de construcción de 4,500 m², cuyas coordenadas son 0° 10'36.8"S, 78°29'09.2"W.



Figura 1. Ubicación del edificio donde se planea realizar el proyecto.



Figura 2. Fachada del edificio donde se planea realizar el proyecto

La demanda energética al ser la cantidad de energía útil necesaria para mantener y abastecer las necesidades sobre el edificio se considerará como el consumo de energía actual teniendo un valor de 638.00 KWh/día (tabla 1 y tabla 2).

Tabla 1. Demanda energética mensual

Mes	Consumo de energía (kWh)
16/1/2023	12210
15/2/2023	11440
15/3/2023	13200
14/4/2023	16060
16/5/2023	10890
15/6/2023	14740
14/7/2023	15180
17/8/2023	15400
15/9/2023	16500
17/10/2023	13530
17/11/2023	10890
15/12/2023	19140
16/1/2024	16060
15/2/2024	15180
15/3/2024	12870
16/4/2024	17710
15/5/2024	11990

Tabla 2. Demanda energética del edificio

11 PISOS	
407,00	kWh/día
381,33	kWh/día
440,00	kWh/día
535,33	kWh/día
363,00	kWh/día
491,33	kWh/día
506,00	kWh/día
513,33	kWh/día
550,00	kWh/día
451,00	kWh/día
363,00	kWh/día
638,00	kWh/día
535,33	kWh/día
506,00	kWh/día
429,00	kWh/día
590,33	kWh/día
399,67	kWh/día

Seleccionando el valor más alto de consumo en este caso sería 638.00 KWh/día, se ingresó al software HOMER Pro, (figura 3).

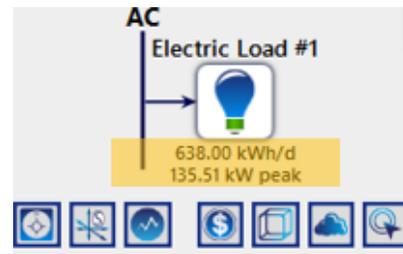


Figura 3. Resultados obtenidos de la aplicación HOMER Pro

A partir de este punto se necesita el máximo valor anual de potencia demandada de la carga, según el sistema esquemático el valor de la demanda máxima de la carga es 135.51 KW peak, si tenemos en cuenta un crecimiento del 1% anual por 25 años se tiene el máximo valor pico de demanda de carga MVPDC DE 169.39 kW.

Mediante el uso del software HOMER Pro, se recopilaban datos estadísticos tanto en radiación solar como en la velocidad del viento en el sitio del proyecto, para ello se ingresó las coordenadas del edificio.

En la figura 4 se indica que la radiación solar promedio anual es de 4.25 KWh/m²/día, siendo nivel es adecuado para la generación de energía eléctrica por medio de paneles fotovoltaicos.

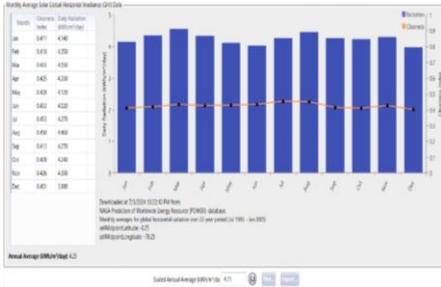


Figura 4. Recurso solar de la zona obtenido de la aplicación HOMER Pro.

En la figura 5 se indica que la velocidad anual del viento promedio es de 3.54 m/s, siendo un valor demasiado bajo para considerar generación eléctrica por medio del viento como una opción viable en el lugar del proyecto. En resumen, el proyecto desarrollado en HOMER Pro determinó que las condiciones son favorables para un sistema de generación fotovoltaica pero no para un sistema de generación eólica.



Figura 5. Recurso eólico de la zona obtenido de la aplicación Homer Pro.

En el mercado ecuatoriano se pueden encontrar paneles solares monocristalinos de 365 Wp/24VDC a un precio de 807.90 \$ cada uno, los mismo que deberán ser conectados al sistema por medio de inversores DC-AC.

Como se mencionó dentro del sistema se incluirá un CHP el cual ofrece una excepcional eficiencia energética, pudiendo transformar el combustible en electricidad y calor de una manera simultánea, permitiendo ahorrar recursos, ahorro económico y minimización de las emisiones de gases que producen el efecto invernadero, siendo un avance significativo para un futuro sostenible. Un aspecto fundamental de este tipo de tecnología su capacidad de aprovechamiento del calor residual para calentar agua sanitaria, la que será distribuida a todo el edificio.

Para optimizar el uso del CHP se ha establecido un criterio que contempla el tiempo de operación, y este estaría entre 5:30 a.m. y las 22:30 p.m. teniendo un tiempo de operación de 17 horas, quedando el tiempo restante fuera de servicio, pero para este periodo se requiere de un controlador de carga térmica 10 kW.

3. Resultados y discusión

El diagrama esquemático presentado en la figura 6, es con cual se trabajó en el desarrollo del proyecto, el cual posee una configuración óptima para la creación de la microrred, evaluando la viabilidad de esta, además de tomar en cuenta las restricciones planteadas, luego de evaluar diversas alternativas los resultados que nos entrega el software de HOMER Pro es la configuración más favorable y esta incluye: 94 paneles fotovoltaicos, de 365 WP con un potencia instalada de 35.04 kW, un generador eléctrico a gas con CHP de 30 kW, un inversor DC-AC de 22.53 kW, un controlador de carga térmica de 10 kW y una interconexión a la red pública. El COE del sistema ha nivelado en 0.069 \$/kWh.

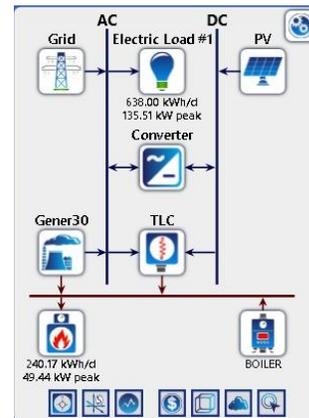


Figura 6. Esquemático de la microrred obtenido de la aplicación Homer Pro.

En resumen, el sistema propuesto combina de una manera eficiente diferentes tecnologías para la generación de energía eléctrica, además de calor a un costo competitivo siendo económicamente atractivo, pudiendo minimizar el impacto ambiental y aprovechando al máximo los recursos renovables disponibles siendo una solución viable, en un futuro sostenible disminuyendo el impacto ambiental.

En cuanto al análisis del balance energético del sistema, en la figura 7 se ilustra el aporte de las diferentes fuentes energéticas del proyecto para satisfacer la demanda de energía, siendo un perfil de carga eléctrica por hora y por mes, las líneas de la figura representan lo siguiente:

- Carga eléctrica total servida representa la cantidad total de energía eléctrica que fue suministrada a los usuarios durante el periodo de tiempo.
- Compras de red representa la cantidad de energía que se compró a la red central durante un periodo de tiempo.
- Penetración de energías renovables representa el porcentaje de la energía total que se generó a por medio de fuentes renovables.

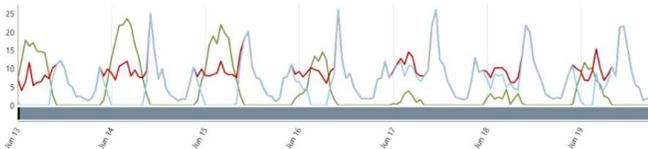


Figura 7. Perfil de carga eléctrica de una semana obtenido del HOMER Pro.

Se puede ver el perfil horario mensual de la carga eléctrica, viendo como las líneas cambian a lo largo del día reflejando patrones de consumo por ejemplo cuando es que la personas utilizan más energía eléctrica para sus hogares, cuando se produce la carga mínima y esta se encuentra en la noche, ya que la penetración de energías renovables es más alta durante el día cuando el sol está en su punto más alto, siendo una herramienta útil para poder identificar patrones y tendencias del uso de la energía además de poder evaluar el impacto de las fuentes renovables en la red eléctrica (figura 6) donde en ciertos momentos del día la autogeneración supera la demanda lo que permitirá vender el excedente de energía a la red.

En la tabla 3 se destaca la capacidad de generación de energía a partir de recursos renovables del edificio, siendo una evidencia contundente que el edificio logra la autosuficiencia energética, los datos describen que la implementación de la microrred permite una solución la cual cubre el 83% de las necesidades energéticas anuales del edificio reduciendo significativamente la dependencia de la red eléctrica central en un 17%, lo que representa en ahorro sustancial en costos, además de una disminución de la huella de carbono, además de poder ganar autonomía frente a las fluctuaciones del precio de la electricidad y a los posibles cortes del suministro eléctrico (figura 8).

Tabla 3. Demanda energética del edificio

Producción	kWh/año	%
Fotovoltaica	37,828	14,1
Red eléctrica publica	230,462	85,9
Total	268,29	100

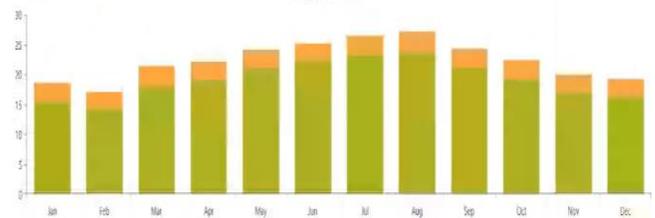


Figura 8. Producción eléctrica mensual según el tipo de generación

Como se ve en el trabajo el trabajo la microrred no solo reduce el consumo energético de la red central, sino que también genera un excedente del 19.4% como se observa en la tabla 4. Esta energía excedente es una oportunidad para poder comercializarla en el mercado eléctrico de Ecuador, pudiendo generar ingresos adicionales, además de inyectar energía renovable a la red central, mejorando la seguridad energética.

Tabla 4. Comparación de la generación eléctrica

Detalle de consumo	Solo con la red		Sistema con Micro-red	
	kWh/año	%	kWh/año	%
Carga del edificio	229680	100	232870	100
Total		100		100

Si bien, la inversión inicial del proyecto es \$ 90.0000 es elevada, se debe analizar el panorama completo, por medio del flujo de carga (figura 9), aquí se revela que el sistema promete un desarrollo sostenible, generando ahorros anuales en costos de operación, el análisis esta para los próximos 25 años donde se ve un significativo ahorro a largo plazo pudiendo recuperar la inversión inicial y comenzar a obtener ganancias netas, siendo rentable a largo plazo.

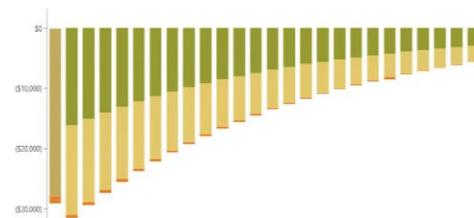


Figura 9. Flujo de carga del proyecto desarrollado.

En la tabla 5, se observa que la microrred no solo optimiza el consumo energético, sino que también genera un importante impacto ambiental, donde se aprecia la comparación de las emisiones de gases contaminantes, observándose una reducción sustancial gracias a la implementación del proyecto.

Tabla 5. Comparación de emisiones de gases

Descripción	Valor (kg/año)
Dióxido de carbono	164,001
Monóxido de carbono	1,283
Hidrocarburos no quemados	0
Materia particulada	0
Dióxido de azufre	379
Óxido de nitrógeno	2,795

4. Conclusiones

El proyecto desarrollado a un edificio residencial de 11 pisos ubicado en la ciudad de Quito donde se incorpora una microrred abastecida por fuentes renovables, con una demanda energética de 638.00 KWh/día presentando los siguientes beneficios:

- Reducción de costos de energía, independencia energética y en la disminución del impacto ambiental.
- La investigación demuestra que la implementación de este proyecto es viable técnicamente y económicamente.
- El proyecto no solo ahorra dinero en costos de operación, sino también mejora la productividad y el confort además de la imagen pública del edificio.
- Los resultados obtenidos podrán ser utilizados por los administradores de condominios, siendo una valiosa herramienta para la toma de decisiones sobre las instalaciones de microrredes en edificios residenciales, ya que se convertirá en un ejemplo a seguir para las construcciones demostrando la viabilidad al poder incorporar energías renovables de una manera eficiente alcanzando altos niveles de autosuficiencia energética, marcando un hito en la edificación sostenible reduciendo el impacto ambiental al promover el uso de energías limpias.

AGRADECIMIENTOS

En la culminación de este proyecto quisiéramos expresar nuestra más profunda gratitud a todas las personas que han contribuido de una manera invaluable al apoyo del mismo, y ha enriquecido el trabajo de una manera enorme.

A la Universidad Politécnica Salesiana, por darnos la oportunidad de poder desarrollar el proyecto brindándonos todos los recursos necesarios. Gracias por ser parte importante.

CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran no tener algún conflicto de interés.

REFERENCIAS

- [1] J. Q. Gaibor and F. U. Navarrete, "Aplicación de la deontología en las micro redes eléctricas," *Rev. Obs. la Econ. Latinoam.*, 2019.
- [2] D. Ochoa Ochoa, C. Ochoa Malhaber, and S. Ochoa Ochoa, "Electrificación por microrredes en zonas rurales de la provincia del Azuay, Ecuador," *Mem. Investig. en Ing.*, vol. 23, pp. 63–74, 2022, doi: 10.36561/ing.23.6.
- [3] C. Rodríguez Salas, "Beneficios de la Energía Fotovoltaica para la Optimización de Recursos a Nivel Empresarial," *Univ. Mil. Nueva Granada*, vol. 2, pp. 5–10, 2019.
- [4] R. A. Barragán Llanos, "La generación de energía eléctrica para el desarrollo industrial en el Ecuador a partir del uso de las energías renovables," *Univ. Int. SEK*, vol. 1, no. April, 2020.
- [5] M. Garcia-Parra, F. De la Barrera, N. Plazas-Leguizamon, A. Colmenares-Cruz, A. Cancimance, and D. Soler-Fonseca, "Los objetivos de desarrollo sostenible en América: Panorama," *Rev. Ciencias la Vida*, vol. 36, no. 2, pp. 45–59, 2022, doi: 10.17163/Igr.n36.2022.04.
- [6] D. Arias, P. Gavela, and J. Riofrío, "Incentivos y Estrategias para la Penetración de Energía Renovable," *Rev. Técnica "energía"*, vol. 18, no. 2, pp. 91–103, 2022.
- [7] P. M. Toledo Gil, "Estudio y desarrollo de un proyecto de urbanización residencial aislado abastecido con fuentes de energía renovables.," *Esc. Técnica Super. Ing. Ind.*, p. 119, 2020.
- [8] A. E. Hernandez Jimenez, A. de J. García Toribio, and D. Lara Alabazares, "Principales Aspectos De Control De Microrredes En Sistemas Invernadero," *Memorias del Congr. Int. Investig. Acad.*, vol. 0, no. 0, pp. 762–767, 2020, [Online]. Available: https://www.researchgate.net/publication/347538015_Principales_aspectos_de_control_de_microrredes_en_sistemas_invernadero.
- [9] J. Parreño1, O. Lara1, R. Jumbo1, H. Caicedo1, and D. Sarzosa1, "Diseño De Un Módulo De Energía Solar Como Estrategia De Ahorro Energético Y Disminución De La Emisión De Co2," *Rev. Científica A.S.A.*, vol. 2, no. 15, pp. 4–18, 2020, [Online]. Available: <https://revistas.uclave.org/index.php/asa/article/view/2849>.
- [10] D. J. Trujillo Sandoval, F. I. Mosquera Velásquez, and E. M. García Torres, "Análisis de viabilidad de microrredes eléctricas con alta penetración de recursos renovables en zonas urbanas: caso de estudio condominios residenciales," *Enfoque UTE*, vol. 12, no. 2, pp. 19–36, 2021, doi: 10.29019/enfoqueute.734.