



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE GUAYAQUIL
CARRERA DE ELECTRICIDAD**

**DISEÑO DE MICRORED CONECTADA A LA RED ELÉCTRICA PARA MEJORAR LA
CONFIABILIDAD DEL SUMINISTRO DE ENERGÍA EN EL EDIFICIO B DE LA
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA SEDE GUAYAQUIL**

Trabajo de titulación previo a la obtención del
Título de Ingeniero Eléctrico

AUTOR: ARIEL ALEXANDER SUAREZ GAONA

TUTOR: ING JUAN CARLOS LATA GARCIA, PhD

Guayaquil - Ecuador

2025

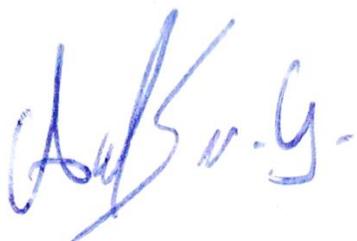
**CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE
TITULACIÓN**

Yo, Ariel Alexander Suarez Gaona con documento de identificación N° 0940789738 manifiesto que:

Soy el autor y responsable del presente trabajo; y, autorizo a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Guayaquil, 12 de febrero del año 2025

Atentamente,



Ariel Alexander Suarez Gaona
0940789738

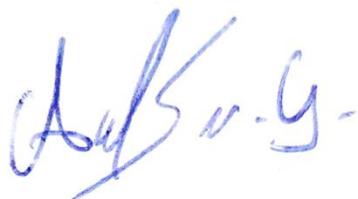
**CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE
TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

Yo, Ariel Alexander Suarez Gaona, con documento de identificación No. 094078973-8 , expreso mi voluntad y por medio del presente documento cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autor del Artículo académico: “Diseño de Microred Conectada a la Red Eléctrica para Mejorar la Confiabilidad del Suministro de Energía en el Edificio B de la Universidad Politécnica Salesiana Sede Guayaquil”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero Eléctrico, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribo este documento en el momento que hago la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Guayaquil, 12 de febrero del año 2025

Atentamente,



Ariel Alexander Suarez Gaona
0940789738

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Juan Carlos Lata García con documento de identificación N° 030179189-3, docente de la Universidad Politécnica Salesiana Sede Guayaquil, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: DISEÑO DE MICRORED CONECTADA A LA RED ELÉCTRICA PARA MEJORAR LA CONFIABILIDAD DEL SUMINISTRO DE ENERGÍA EN EL EDIFICIO B DE LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA SEDE GUAYAQUIL, realizado por Ariel Alexander Suarez Gaona con documento de identificación N° 094078973-8 , obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción de Artículo Académico que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Guayaquil, 12 de febrero del año 2025

Atentamente,



Juan Carlos Lata García
0301791893

Resumen

El estudio abordó el diseño de una microred interconectada a la red eléctrica pública con el objetivo de optimizar la estabilidad y asegurar la continuidad en el abastecimiento de energía en el Edificio B de la Universidad Politécnica Salesiana, sede Guayaquil. La metodología incluyó la recopilación y análisis de datos de consumo, simulaciones con HOMER Pro y evaluaciones de viabilidad técnica y económica. El análisis reveló dificultades en la estabilidad del servicio eléctrico con picos de consumo superiores a 65,45 kW y un promedio mensual de 25,704 kWh. Para mitigar estos problemas, se propuso la instalación de una microred que combine 40 kW de paneles solares fotovoltaicos, un sistema de almacenamiento con baterías de iones de litio de 125 kWh y un generador de 50 kW como respaldo. Los resultados indicaron que la implementación de esta microred reducirá las interrupciones en el suministro eléctrico en aproximadamente un 80%, y generará un ahorro del 40% en costos operativos. El Costo Nivelado de Energía (COE) se estimó en \$0.0900 por kWh, lo que se traducirá en un ahorro anual aproximado de \$4,007 y un Valor Presente Neto (NPV) de \$82,320. La puesta en marcha del sistema contribuirá a la disminución de 15 toneladas de CO₂ al año, promoviendo un modelo energético más sostenible. Finalmente, la inversión inicial estimada fue de \$101,369 con un periodo de recuperación entre 7 y 10 años, dependiendo de la evolución de los costos energéticos y los posibles incentivos gubernamentales.

Palabras clave: energía renovable, microred, estabilidad energética, sostenibilidad, almacenamiento.

Abstract

The study focused on designing a microgrid interconnected with the public power grid to optimize stability and ensure continuous energy supply in Building B of the Salesian Polytechnic University, Guayaquil campus. The methodology included data collection and consumption analysis, simulations using HOMER Pro, and assessments of technical and economic feasibility. The analysis revealed challenges in the stability of the electrical service, with consumption peaks exceeding 65.45 kW and a monthly average of 25,704 kWh. To mitigate these issues, the installation of a microgrid was proposed, combining 40 kW of photovoltaic solar panels, a 125 kWh lithium-ion battery storage system, and a 50 kW backup generator. The results indicated that implementing this microgrid would reduce power supply interruptions by approximately 80% and generate a 40% savings in operating costs. The Levelized Cost of Energy (LCOE) was estimated at \$0.0900 per kWh, translating to an approximate annual savings of \$4,007 and a Net Present Value (NPV) of \$82,320. The system's implementation will contribute to reducing 15 tons of CO₂ per year, promoting a more sustainable energy model. Finally, the estimated initial investment was \$101,369, with a payback period ranging between 7 and 10 years, depending on energy cost fluctuations and potential government incentives.

Key words: renewable energy, MicroRed, energy reliability, sustainability, storage.

1 Introducción

La energía eléctrica se ha transformado en el pilar de la vida moderna hoy en día, la interrupción del suministro puede desencadenar consecuencias significativas que van desde paralizar las actividades educativas hasta casos mas graves como la pérdida de información de los sistemas tecnológicos [1].

En la Universidad Politécnica Salesiana con sede en Guayaquil contar con el suministro eléctrico continuo garantiza la sostenibilidad de las operaciones diarias administrativas, laboratorios y equipos; esto garantiza la calidad educativa y funcionamiento. La investigación de soluciones que ayuden en la mejora de la confiabilidad del suministro eléctrico hoy en día presta atención además la necesidad de integrar energías renovables.

Actualmente, el Edificio B de la universidad enfrenta problemas de confiabilidad energética, especialmente en horarios de alta demanda, lo que compromete el funcionamiento de equipos tecnológicos y sistemas administrativos. El análisis de consumo revela picos superiores a los 65.45 kW y un promedio mensual de 25,704 kWh, evidenciando la vulnerabilidad del abastecimiento debido a la dependencia de la red eléctrica principal, que presenta interrupciones ocasionales y una alta utilización de fuentes no renovables [2].

La implementación de una microred como una alternativa viable permitiría mitigar estos problemas mediante un esquema de generación distribuida que integre 40 kW de paneles fotovoltaicos, un sistema de almacenamiento con baterías de iones de litio de 125 kWh y un generador de 50 kW como respaldo. Estudios previos han demostrado que la incorporación de este tipo de infraestructuras puede reducir hasta en 80% las interrupciones eléctricas y disminuir en 40% los costos operativos, además de contribuir significativamente a la reducción de emisiones de carbono [3].

En Ecuador, la abundante radiación solar, con un promedio de 4.5 kWh/m²/día, representa una ventaja competitiva para la implementación de soluciones fotovoltaicas dentro de un modelo energético más sostenible [4]. A nivel global, la transición hacia fuentes renovables se acelera, con un crecimiento del 5.3% anual en la generación renovable, lo que posiciona a las microredes como una opción estratégica para garantizar

un suministro energético eficiente y seguro en infraestructuras académicas [5].

El diseño de sistemas energéticos descentralizados no solo fortalece la confiabilidad del suministro, sino que también optimiza la eficiencia operativa y económica de las instituciones. En este sentido, las microredes se configuran como un modelo adaptable que permite gestionar de manera inteligente los recursos energéticos disponibles, integrando generación renovable y almacenamiento con el propósito de minimizar la dependencia de fuentes tradicionales. Su implementación en universidades no solo responde a una necesidad operativa, sino que también fomenta la transición hacia infraestructuras más sostenibles y resilientes [6].

Desde una perspectiva técnica, las microredes se definen como redes interconectadas de generación y consumo de energía dentro de un perímetro eléctrico delimitado, lo que permite descentralizar la producción energética y reducir la vulnerabilidad ante fallos en la red principal [7]. Su adopción en entornos educativos se alinea con las estrategias globales de eficiencia energética, favoreciendo la integración de tecnologías limpias y reduciendo las pérdidas en la transmisión de energía [8], [9], [10].

Así, la propuesta de una microred en el Edificio B se perfila como un modelo escalable y replicable, capaz de mejorar la estabilidad del suministro energético en infraestructuras universitarias y promover una gestión más eficiente de los recursos renovables.

2 Desarrollo

2.1 Desafío energético desde el contorno político

Desde el ámbito político, el país ha adoptado una serie de regulaciones que promueven una cultura de sostenibilidad, impulsando prácticas empresariales responsables dentro del marco regulador de geología y energía. Estas disposiciones buscan optimizar el desarrollo de dichas industrias mediante la imposición de directrices que regulan el impacto ambiental y las obligaciones sociales de quienes gestionan estos recursos. La estructura normativa se encuentra alineado con el séptimo Objetivo de Desarrollo Sostenible que enfatiza: “Garantizar el acceso a una energía asequible, fiable, sostenible y moderna” [11].

La Constitución de la Republica del Ecuador en su art. 15 propone que “se tomarán acciones en el sector público y privado, con el objetivo de impulsar el uso de tecnologías

limpias, que no generan contaminación, y aplicar diferentes estrategias para reducir el impacto de la contaminación en el entorno” [12].

La energía térmica afecta al medio ambiente debido a que la quema de combustibles libera dióxido de carbono y otros contaminantes en la atmósfera, manteniendo una participación superior al 40% entre 2005 y 2016. Junto con el Ministerio de Energía y Minas, [13] actualmente, el 92% de la potencia generada en el país proviene de centrales hidroeléctricas, el 7% de centrales térmicas y el 1% de fuentes de energía alternativas.

3 Metodología

3.1 Proyecto de búsqueda

La presente indagación tiene un planteamiento numérico, [14] basado en modelos matemáticos y simulaciones computacionales. Se utiliza el software HOMER Pro para modelar escenarios de generación y consumo eléctrico, evaluando diversas configuraciones de microred. El análisis considera aspectos técnicos, económicos y ambientales. Este enfoque se basa en la epistemología positivista, que valida hipótesis a través de datos y hechos. La investigación es de carácter descriptivo y transeccional, enfocándose en las condiciones actuales del Edificio B. [15]

3.2 Campo de estudio

En el Edificio B de la Universidad Politécnica Salesiana, situado en Guayaquil, Ecuador. Este edificio contiene aulas y oficinas y presenta un consumo energético significativo, especialmente en el sistema de aire acondicionado y la iluminación. La ubicación geográfica del edificio permite aprovechar recursos como la radiación solar.

Figura 1

Delimitación del objeto de estudio- Edificio B de la Universidad Politécnica Salesiana sede Guayaquil



3.3 Recopilación de datos, herramientas y procesamiento

Para el análisis, hemos recopilado datos sobre el consumo de energía existente en la universidad, utilizando herramientas como Microsoft Excel 2019 para manejar la información y HOMER Pro para evaluar de manera técnica y económica las microrredes y fuentes de energía renovables regionales. [16]

3.4 Perfil de la demanda

Determinación de las características de consumo en el edificio B de la Universidad Politécnica Salesiana juega un papel clave en la creación de las bases para soluciones efectivas de diseño y modelado de posibles microrredes. El producto está clasificado como producto de uso doméstico. Modelos probados en consumo de energía basado en datos energéticos disponibles. Después de recopilar información, para estimar los requerimientos de energía se utilizan factores de uso y comparación.

Se elaboró una lista preliminar de cargas eléctricas, teniendo en cuenta los datos energéticos y gráfico de consumo en hoja de cálculo. Además, se realizaron entrevistas con

El administrador de la propiedad debe determinar los criterios de garantía necesarios para la investigación. Tras la recopilación de datos, se implementaron factores de utilización y comparación. Los valores a continuación se emplean para calcular el consumo energético diario y mensual de cada carga, conforme a Los ejemplos siguientes. (1) y (2). [17], [18]

$$Dd = \sum_{i=1}^{24} P_c f_c f_u \quad (1)$$

$$Dm = \sum_{i=1}^{24} Dd \quad (2)$$

Donde:

D_d : demanda diaria

D_m : demanda mensual

P_c : potencia de carga [kW]

f_c : factor de potencia

f_u : factor de utilización

Después de recopilar los datos de consumo individual, los datos se consolidarán por tipo de carga por día, mes y año.

3.4.1 Características del perfil de demanda energética

Como se observa en la tabla 2, la demanda diaria de electricidad, se calcula como el promedio de los valores obtenidos durante la entrevista con Ingeniero responsable del área de investigación. Este valor es 25,704 kWh/mes, equivalente a 308,448 kWh/año.

Tabla1:

Cálculo promedio del consumo eléctrico tanto mensual como anual.

| PERIODOS | DEMANDA |
|----------|-----------------|
| Mensual | 25,704 kWh/mes |
| Anual | 308,448 kWh/año |

Nota: Unidad de medida kWh/día, mes, año

3.5 Propuesta de diseño de microrred

Placas Solares: Los paneles de células fotovoltaicas son el recurso renovable clave de la microrred propuesta, seleccionados por los recursos disponibles en la zona de aprendizaje y beneficios de instalar paneles solares en edificios residenciales. La potencia de un panel solar depende del nivel de radiación y de la temperatura en una zona determinada. La ecuación (3) describe la potencia del sistema fotovoltaico en detalle. Si no

se selecciona esta ecuación, no modelará el efecto de la temperatura. En el sistema fotovoltaico HOMER Pro [16], el coeficiente de temperatura de la fuente se considera 0, por lo que la ecuación anterior se simplifica a (4):

$$P_{PV} = Y_{PV} f_{PV} \left(\frac{GT}{G_{T,STC}} \right) [1 + \alpha_p (T_c - T_{c,STC})] \quad (3)$$

$$P_{PV} = Y_{PV} f_{PV} \left(\frac{GT}{G_{T,STC}} \right) \quad (4)$$

Allí dentro:

VPV: Es la potencia nominal del conjunto fotovoltaico (PV), que es la potencia de salida en condiciones de prueba (kW)

FPV: *Factor* de degradación de la eficiencia del sistema fotovoltaico (%)

GT: Radiación solar incidente en condiciones de prueba estándar (kW/m)

α_p : Coeficiente de temperatura que afecta la potencia (%/°C)

T_c : Temperatura actual de la célula fotovoltaica en un momento dado (°C)

$T_{c,c}$: Temperatura de la célula fotovoltaica en condiciones de prueba estándar (25 °C)

Generador: Considera la reducida inercia característica de una microred en comparación con los sistemas de generación convencionales. Esta limitación se incorpora un generador a Diesel que ayudada en la estabilización y el control del sistema. Para conservar el balance óptimo en los períodos de baja generación. Una opción es integrar baterías junto con la generación solar fotovoltaica.

Es importante recordar que la potencia requerida no solo depende de la energía generada y absorbida por los dispositivos, sino también de la que se consume y se disipa en el circuito. Por esta razón, es fundamental determinar su valor, lo cual puede calcularse mediante la siguiente ecuación (5): [16].

$$kW = kVA \times f.d.p \quad (5)$$

Donde:

kW: Potencia activa

kVA: Potencia reactiva

f. d. p: Factor de potencia

Para el cálculo del factor de potencia, se recomienda utilizar un valor de 0.8, dado que es el más habitual en términos de eficiencia energética. Con esta consideración y los conceptos previamente explicados, es posible determinar la potencia de un grupo electrógeno [16]. Debes aplicar la siguiente fórmula (6):

$$kVA = \frac{kW}{F.D.P.} \quad (6)$$

Es importante considerar un margen de seguridad en el resultado, aumentando entre un 10% y un 20%. Esto permite evitar que el grupo electrógeno opere constantemente al máximo de su capacidad y, además, posibilita la conexión de equipos adicionales en caso de ser necesario. [16].

Batería: Tiene una relación directa con las particularidades de la aplicación y el tipo de servicio que se desea proporcionar. En las microrredes, estas tienen la función de ser el enlace temporal entre la generación y el consumo, almacenando exceso de energía que se produce en los paneles fotovoltaicos en las horas de radiación solar máxima. Para el sistema se ha seleccionado la tecnología de iones de litio

A continuación, se muestran las variables de entrada detalladas que se utilizan para seleccionar la batería:

Cómo determinar la capacidad máxima de carga de la batería, donde (7) representa la máxima energía que el sistema puede alcanzar. La segunda restricción está relacionada con la relación capacidad máxima del almacén, es decir, la capacidad del almacén para manejar cargas.

La velocidad máxima de descarga se determina de la siguiente manera: la ecuación (8) y el tercer límite (9) se relacionan con la corriente de carga máxima del dispositivo.

Homer Pro, se determina la capacidad de carga máxima del sistema, considerando

como referencia el valor más bajo de los tres, dado que cada valor se utiliza posteriormente para la pérdida de carga. La ecuación pertinente establece la cantidad de energía. Capacidad máxima que el sistema puede soportar.

La segunda variable se vincula a la velocidad; la capacidad de carga máxima del elemento de almacenamiento y la potencia correspondiente a dicha capacidad se determina mediante la ecuación [19]. La corriente máxima, siendo la carga del componente de almacenamiento la más baja de las tres. Variables que dilucidan la disminución de presión, las cuales se modelan mediante la ecuación (10) [16].

Al determinar el tamaño de la batería, según [16], se tienen en cuenta los siguientes factores: Tres variables principales. En primer lugar, se calcula la capacidad máxima de carga de la batería,

$$P_{batt,cmax,kbm} = \frac{KQ_1 e^{-k\Delta t} + Qkc(1 - e^{-k\Delta t})}{1 - e^{-k\Delta t} + c(k\Delta t + e^{-k\Delta t})} \quad (7)$$

$$P_{batt,cmax,mcr} = \frac{(1 - e^{\alpha_c \Delta t})(Q_{max} - Q)}{\Delta t} \quad (8)$$

$$P_{batt,cmax,mcr} = \frac{N_{batt} I_{max} V_{nom}}{1000} \quad (9)$$

$$P_{batt,cmax} = \frac{MIN(P_{batt,cmax,xbm}, P_{batt,cmax,mcr}, P_{batt,cmax,mcc})}{\eta_{batt,c}} \quad (10)$$

Allí dentro:

QI: Es la energía disponible (kWh) almacenada al inicio del período de tiempo.

Q: es la cantidad total de energía (kWh) almacenada al comienzo del período de tiempo.

C: Esta es la relación de capacidad de almacenamiento

K: relación de almacenamiento uniforme ($k - 1$)

Δt: duración del intervalo del tiempo (h)

ac: velocidad máxima a la que se puede cargar el dispositivo de almacenamiento (A/Ah).

Qmax: Esta es la capacidad total del sistema de almacenamiento disponible.

Nbatt: Este es el número de baterías en el sistema de almacenamiento de energía.

I_{max}: Corriente máxima Esta es la corriente máxima permitida para cargar el sistema de almacenamiento (A).

Vnom: Este es el voltaje nominal del sistema de almacenamiento de energía (V).

Nbatt,c: Esta es la eficiencia del proceso de carga del sistema de almacenamiento.

Homer Energy (2019) establece que la descarga de capacidad máxima se configura dentro de los límites específicos considerando el estado actual de carga como el historial de carga y descarga del sistema. La metodología ayuda en el cálculo preciso de la máxima cantidad de energía en un periodo específico. Además, se consideran las pérdidas en el proceso de descarga. la expresión matemática se lo representa en la ecuación (12)

$$P_{batt,cmx,kbm} = \frac{-kcQ_{max} + kQ_{1e^{-k\Delta t} + Q_{kc}} + (1 - e^{-k\Delta t})}{1 - e^{-k\Delta t} + c(k\Delta t - 1 + e^{-k\Delta t})} \quad (11)$$

$$P_{batt,dmax} = \eta_{batt,d} P_{batt,dmax,kbm} \quad (12)$$

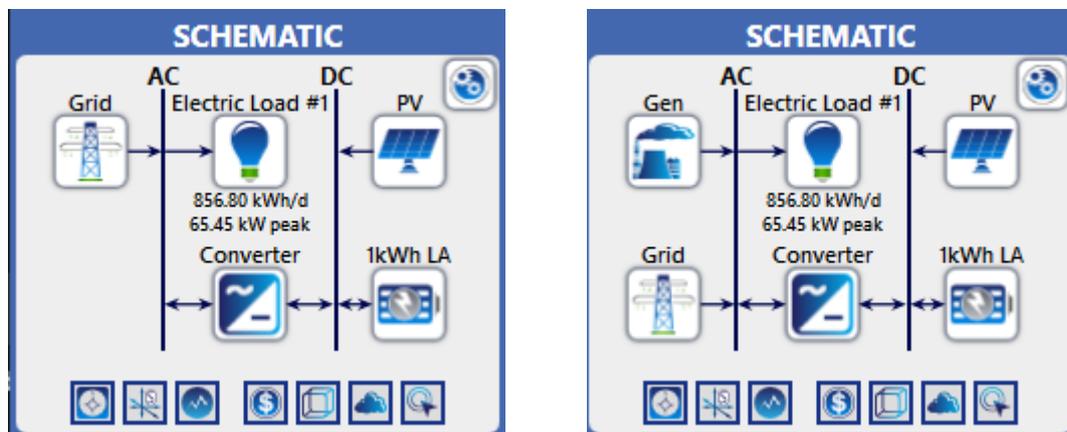
3.5.1 Modelado de microrredes con HOMER Pro

Se utilizó el software especializado HOMER Pro para simular la situación.

La siguiente figura muestra el diagrama del modelo de microred.

Figura 2

Esquemas del modelo de la microrred



El modelo propuesto por HOMER Pro integra un sistema que acopla la red eléctrica, la generación diésel, el sistema fotovoltaico y los baterías gestionados por un convertidor AC/DC. Este diseño ayuda a optimizar la confiabilidad del suministro usando diversas fuentes y aprovechar los recursos renovables.

3.5.2 Descripción de los elementos del esquema:

A. Generador Diesel (Gen)

- 1) Funciona como una fuente de generación de energía en corriente alterna (AC).
- 2) Funciona durante la alta demanda o cuando la generación renovable y el almacenamiento no cubren el consumo por completo.
- 3) Aporta estabilidad al sistema, pero se debe ajustar para minimizar costos como el impacto ambiental.

B. Red Eléctrica (Red)

- 1) Es la fuente de suministro de electricidad convencional proveniente del sistema de distribución pública.
- 2) Puede suministrar energía directamente a la carga o complementar la producción del sistema híbrido cuando sea necesario.

- 3) Su costo y disponibilidad influyen en las decisiones operativas de la microred.

C. Carga Eléctrica (Carga Eléctrica #1)

- 1) Representa la demanda de energía del sistema, con un consumo total de 856,80 kWh/día y un pico de 65,45 kW.
- 2) Su perfil de consumo determina la estrategia de generación y almacenamiento de energía.
- 3) El sistema debe garantizar un suministro estable para evitar interrupciones en el suministro eléctrico.

D. Sistema fotovoltaico (PV)

- 1) Genera energía renovable a partir de la radiación solar en corriente continua (DC).
- 2) Reduzca la dependencia de fuentes convencionales y disminuya los costos de operación.
- 3) Su generación varía según la disponibilidad solar, por lo que se complementa con almacenamiento en baterías y respaldo con generador.

E. Banco de Baterías (1kWh LA - Batería de plomo ácido)

- 1) Acumula la energía producida por los paneles solares para su utilización futura, optimizando la estabilidad del método.
- 2) Permite el suministro de energía en horarios nocturnos o en momentos de baja producción fotovoltaica.
- 3) Su capacidad y ciclo de vida deben ser considerados en el diseño para optimizar costos y eficiencia.

F. Convertidor

- 1) Se encarga de transformar la energía entre corriente alterna (AC) y corriente continua (DC).
- 2) Es clave para asegurar que la electricidad generada y almacenada pueda ser utilizada de manera óptima.

- 3) El correcto dimensionamiento minimiza las pérdidas energéticas y mejora el rendimiento del sistema.

Tabla 2
Resumen del sistema

| Tipo | Capacidad |
|-------------------|------------------|
| Paneles solares | 40 kW |
| Baterías | 125 kWh |
| Grupo electrógeno | 50 kW |

Tabla 3
Costos de Componentes de un Sistema Fotovoltaico (por kW):

| Elementos | Capital (\$/kW) | Costo de reemplazo (\$/kW) | Costo de O&M (\$/año) | Vida útil (años) |
|------------------|------------------------|---|--|-----------------------------|
| Pv | \$ 2,500.00 | \$ 2,500.00 | \$ 10.00 | 25 |
| Baterías | \$ 300.00 | \$ 300.00 | \$ 10.00 | 10 |
| Convertidor | \$ 300.00 | \$ 300.00 | \$ - | 15 |

La Tabla 3 se presenta un resumen de los costos asociados con los componentes individuales del sistema. Incluye costos de capital, costos de reemplazo, costos operativos y vida útil de los componentes de paneles solares, baterías e inversores.

Tabla 4**Costos del Grupo Electrónico (por kW):**

| Elemento | Capital (\$/kW) | Costo de reemplazo (\$/kW) | Costo de O&M (\$/año) | Vida útil (horas) | Precio del combustible (\$/L) |
|----------------------|----------------------------|---|--|------------------------------|--|
| Grupo electrónico | \$ 500.00 | \$ 500.00 | 0.03 | 15,000 | \$ 1.00 |

4 Resultados y consecuencia

4.1 Análisis de recursos renovables y no renovables en la zona de radiación solar media

En esta sección se analizan los recursos naturales disponibles, la velocidad del viento y la radiación solar en el edificio B de la Universidad Politécnica Salesiana sede Guayaquil. Para ello se utilizó el software especializado Homer Pro, que utilizando coordenadas de latitud y longitud permitió recolectar los datos necesarios. El recurso se puede ver en la Figura 5. Según los datos de HOMER Pro, el nivel de radiación solar en el área de estudio es suficiente, mostrando que la radiación solar oblicua global promedio en el ángulo óptimo en el edificio B de la Universidad Politécnica Salesiana. Estos datos varían según la ubicación y pueden obtenerse de bases de datos de radiación solar.

Figura 5

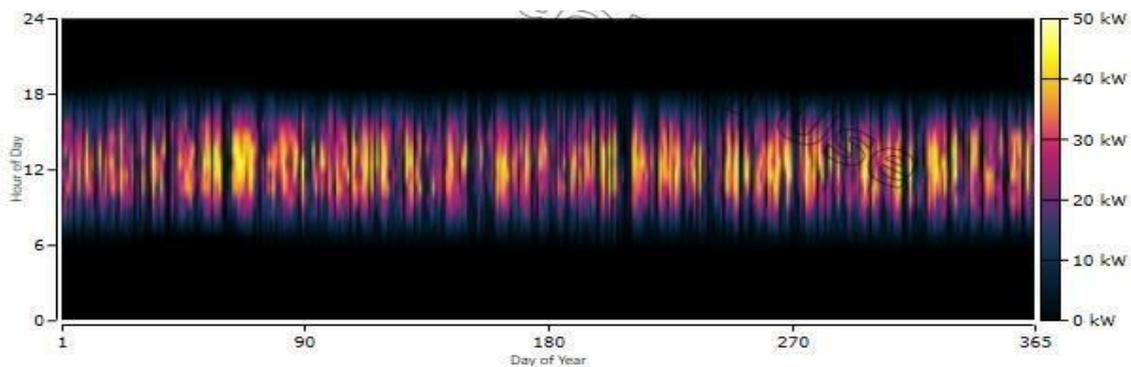
Cálculo de Homer Pro sobre la Radiación usando el GPS y una base de datos



La figura 5 muestra la radiación solar diaria (barras azules y el índice de claridad (línea naranja). La radiación varía entre 4 y 6 en kWh/m²/día, con máximos en febrero y mínimos en abril. El índice máximo de claridad alcanza en junio y disminuye al final del año. Esto refleja la disponibilidad solar constante, aunque con ligeras variaciones estacionales.

Figura 6

Producción anual de energía del sistema de generación de energía, paneles fotovoltaicos en [MWh]

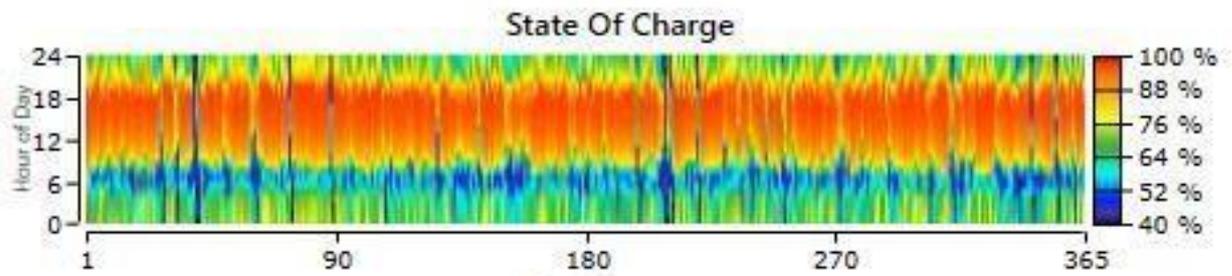


La Figura 6 muestra la generación anual de energía de un sistema fotovoltaico, representado los días del año en el eje horizontal (1 a 365) y las horas del día en el vertical (0 a 24). La escala de colores indica la potencia generada en kW; los tonos oscuros evidencian la ausencia de producción, mientras que los colores claros señalan valores cercanos a los 50 kW. La generación se concentra en horas diurnas, con picos entre las 10:00 y las 16:00 horas, coincidiendo con la mayor radiación solar. La

variabilidad a lo largo del año evidencia el impacto de factores climáticos y estacionales en el desempeño del sistema.

Figura 7

Nivel de carga anual de la batería.



La Figura 7 muestra la variación diaria del estado de carga de la batería a lo largo del año, evidenciando significativas fluctuaciones por la demanda constante de la microred, especialmente por la noche. Para satisfacer esta demanda la batería opera frecuentemente a niveles elevados de carga, esto incrementa el desgaste y reduce la capacidad de almacenamiento por los ciclos intensos de carga y descarga. Para optimizar el rendimiento y extender la vida útil, se recomienda conservar el nivel de carga entre el 20% y el 80% para minimizar el estrés operativo y asegurar el funcionamiento mucho más eficiente.

4.2 Simulación de Microrred

Tabla 6

Análisis de ambos casos propuestos por Homer Pro

| | | Comparación | |
|--|------------------------------|-------------|-------|
| | | A | B |
| Escenario | | | |
| Elementos utilizados | PV | | |
| | GEN | | |
| | Grupo de baterías | | |
| | Convertidor | | |
| Dimensionamiento de elementos de la microrred | PV (kW) | 24.1 | 878 |
| | GEN | 72.0 | |
| | Baterías acido de plomo (kW) | | 2,950 |
| | Convertidor (kW) | 17 | 118 |

La tabla 6 compara dos escenarios (A y B) de simulación de una microrred, evaluando el dimensionamiento de los componentes clave. Se identifican cuatro componentes clave: los paneles fotovoltaicos (PV), el generador (GEN), las baterías y el convertidor. En el escenario A, se utiliza una capacidad fotovoltaica de 24.1 kW y un generador de 72.0 kW, lo que refleja la combinación de energía solar y convencional. Por el contrario, el escenario B destaca por la mayor dependencia de energía solar, con 878 kW en paneles fotovoltaicos y un sistema de almacenamiento de 2,950 kW en baterías, eliminando el uso de generadores. El convertidor también varío significativamente con 17 kW en el escenario A y 118 kW en el B, evidenciando la mayor cantidad de energía procesada en este último. Por lo tanto, el escenario A presenta un modelo mixto con generación distribuida mientras que el B apuesta por un sistema casi exclusivamente basado en energía fotovoltaica y el almacenamiento en baterías.

Tabla 7

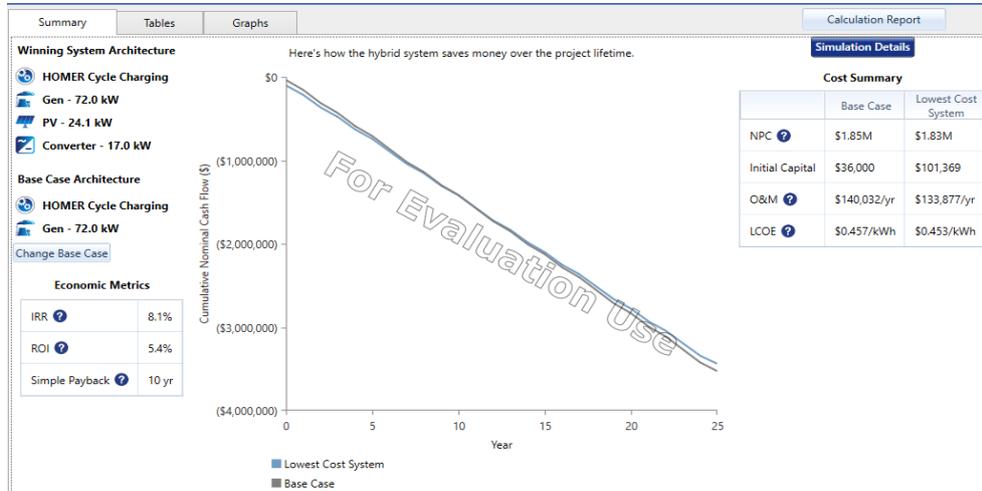
Escenarios de casos de estudio generados por HOMER Pro con base en los datos del área de estudio

| | Escenarios | 1 | 2 |
|--------------------|--------------------------|-----------|-----------|
| Componentes | PV | | |
| | GEN | | |
| | Grupo de baterías | | |
| | Convertidor | | |
| Costo | NPC (\$) | \$1.85 M | \$ 1.83 M |
| | COE (\$) | \$0.457 | \$0.453 |
| | Costo de operación (\$) | \$140,032 | \$133,877 |
| | Capital inicial (\$/año) | \$36,000 | \$101,369 |
| Sistema | Fracción renovable (%) | | 100% |
| | Total, fuel (L/año) | \$93,358 | 0 |

La tabla 7 compara dos escenarios de microredes simulados en HOMER Pro, evaluando los componentes energéticos y los costos asociados. Ambos incluyen paneles fotovoltaicos (PV), generadores (GEN), las baterías y los convertidores, diferenciados por colores. En términos económico, el escenario 2 presenta un Costo Neto Presente (NPC) es ligeramente inferior (\$1.83M vs. \$1.85M en el escenario 1), y un menor Costo de Energía (COE), \$0.453 frente a \$0.457. Además, el costo de operación anual es más bajo en el escenario 2 de \$133,877 vs \$140,032 del escenario 1, aunque requiere una inversión inicial significativamente mayor en el 2 de \$101,369 frente a \$36,000 en el escenario 1). Un aspecto destacado es el consumo de combustible: mientras que el escenario 1 demanda 93,358 litros anuales, el escenario 2 elimina totalmente el uso de combustibles fósiles posicionándose como una solución más sostenible. Por lo tanto, aunque el escenario 2 implica una mayor inversión inicial permite reducir los costos operativos y promover un sistema 100% renovable que favorece la viabilidad a largo plazo.

Figura 8

Escenario creado por Homer pro



La Figura 8 representa el análisis energético de una microred simulada en HOMER Pro para evaluar el desempeño y los costos a lo largo de la vida útil del sistema. En la parte izquierda se describe la arquitectura del sistema optimizada compuesta por un generador de 72.0 kW, paneles fotovoltaicos (PV) de 24.1 kW y el convertidor de 17.0 kW. A la derecha, el Cost Summary compara los costos del escenario base con el sistema optimizado: el Costo Neto Presente (NPC) disminuye de \$1.85M a \$1.83M mientras que la inversión inicial aumenta de \$36,000 a \$101,369. Sin embargo, la inversión se compensa con la reducción de los costos de operación y mantenimiento (O&M), que pasan de \$140,032/año a \$133,877/año. Al mismo tiempo, el costo nivelado de electricidad (LCOE), mejora ligeramente de \$0.457/kWh a \$0.453/kWh, indicando mayor eficiencia. El gráfico central muestra la reducción progresiva de costos durante 25 años, evidenciando el ahorro acumulado y respaldando la viabilidad económica y operativa del sistema.

5. Conclusión

El diseño de una microred constituye una solución estratégica para mejorar la confiabilidad del suministro energético de alta demanda. Este estudio aborda problemas de inestabilidad y dependencia de fuentes no renovables para mantener las operaciones diarias. El análisis de patrones de consumo y las simulaciones con el software HOMER Pro demostró que una microred integrada con paneles solares, baterías de almacenamiento y un grupo electrógeno, en combinación con la red pública es eficiente y sostenible.

El modelo propuesto incluye a 40 kW en paneles solares, 125 kWh en baterías y un grupo electrógeno de 50 kW, cubriendo la demanda mensual de 25,704 kWh del Edificio B. Las simulaciones realizadas demuestran una mejora en la estabilidad del suministro eléctrico reduciendo el riesgo de interrupciones y optimizando los costos operativos con una tarifa de \$0.0900 por kWh. La evaluación de los recursos renovables como la radiación solar y el software HOMER Pro valida técnicamente la viabilidad del proyecto con una inversión inicial CNP de \$82,320 y un costo operativo anual de \$4,007 proyectan como una solución rentable y sostenible a largo plazo.

El diseño de esta microred no solo mejora la confiabilidad y eficiencia del suministro energético en el Edificio B de la Universidad Politécnica Salesiana, sino que también sirve como un modelo para futuras implementaciones en otras áreas del campus, promoviendo la sostenibilidad y la integración de energías renovables en entornos universitarios. Este proyecto no solo responde a las necesidades energéticas actuales, sino que también se alinea con los objetivos globales de transformación en los recursos energéticos que son más limpias y sostenibles. La alta disponibilidad de radiación solar en la región, combinada con el uso adecuado de tecnologías de almacenamiento y generación distribuida, permitirá a la universidad garantizar un suministro eléctrico más confiable y menos dependiente de fuentes no renovables. Este enfoque no solo beneficiará a las operaciones académicas y administrativas, sino que también contribuirá a reducir la huella de carbono de la institución, alineándose con las metas globales de sostenibilidad.

6. Bibliografía

- [1] International Renewable Energy Agency. (2021). Renewable energy statistics 2021. Recuperado de <https://www.irena.org/publications/2021>.
- [2] International Energy Agency. (2024). Renewables 2024: Analysis and forecast. Recuperado de <https://www.iea.org/reports/renewables-2024>.
- [3] Ministerio de Energía y Recursos Naturales No Renovables. (2023). Radiación solar en Ecuador. Recuperado de <https://www.recursoyenergia.gob.ec>.
- [4] Muñoz, J., Beleño, W., & Díaz, H. (2022). Análisis del potencial de uso de hidrógeno verde para reducción de emisiones de carbono en Colombia. *Fuentes El Reventón Energético*, 20(1), 57-73.
- [5] Guacaneme, W., Rodríguez, A. F., Gómez, L. M., Santamaría, F., & Trujillo, C. (2018). Desarrollo de un prototipo de micro-red residencial a baja escala. *Tecnol*, 21(43), 107-125. <https://doi.org/10.22430/22565337.1065>
- [6] Trujillo, D. J., Mosquera, F. I., & García, E. M. (2021). Análisis de viabilidad de microrredes eléctricas con alta penetración de recursos renovables en zonas urbanas: caso de estudio condominios residenciales. *Enfoque UTE*, 12(2), 19-36. <https://doi.org/10.29019/enfoqueute.734>
- [7] Kaabeche, A., & Ibtouen, R. (2014). Techno-economic optimization of hybrid photovoltaic/wind/diesel/battery generation in a stand-alone power system. *Solar Energy*, 103, 171-182. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2014.02.017>
- [8] Medina, J. P., & Lata-García, J. (2021). Optimal model of a hybrid electrical system photovoltaic panel/wind turbine/battery bank, considering the feasibility of implementation in isolated areas. *Journal of Energy Storage*, 36, 102368. <https://doi.org/10.1016/j.est.2021.102368>
- [9] Godoy, J., Manuel, R., & Vega, J. (2019). Evaluación económica de microrredes eléctricas con generación renovable. *Ingeniería Eléctrica*, 345, 1-10.
- [10] Ancona, M. A., Catena, F., & Ferrari, F. (2023). Optimal design and management for hydrogen and renewables-based hybrid storage micro-grids. *International Journal of Hydrogen Energy*, 48(54), 20844-20860. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2022.10.204>
- [11] Cherif, H., & Belhadj, J. (2023). Dynamics of multi-objective energy optimization in multi-energy micro-grids based on renewable energy. En 2023 9th International Conference on Control, Decision and Information Technologies (CoDIT) (pp.

- 2199-2204). <https://doi.org/10.1109/CoDIT58514.2023.10284137>
- [12] Godoy, J. L., & Schierloh, R. M. (2022). Predictive management of the hybrid generation dispatch and the dispatchable demand response in microgrids with heating, ventilation, and air-conditioning (HVAC) systems. *Sustainable Energy, Grids and Networks*, 32, 100857. <https://doi.org/10.1016/j.segan.2022.100857>
- [13] Instituto de Investigación Geológico y Energético. (2021). Plan Estratégico Institucional 2021-2025. Recuperado de https://www.geoenergia.gob.ec/wp-content/uploads/2021/12/plan_estrategico_institucional_2021_2025.pdf.
- [14] Google Maps. (2023). Isla Satay, Ecuador. Recuperado de <https://images.app.goo.gl/3Q3bnejtgb4fKN9>.
- [15] Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, P. (2014). Metodología de la investigación (6ª ed.). México D.F.: McGraw-Hill Education.
- [16] Homer Energy. (2024). HOMER Pro - Microgrid software for designing optimized hybrid microgrids (manual). Recuperado de <http://www.homerenergy.com/pdf/HOMERHelpManual.pdf>.
- [17] Amrr, S. M., Alam, M. S., Asghar, M. S. J., & Ahmad, F. (2018). Low cost residential microgrid system-based home-to-grid (H2G) backup power management. *Sustainable Cities and Society*, 36, 204-214. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2017.10.016>
- [18] Beltrán-Telles, A., Morera-Hernández, M., López-Montegudo, F. E., & Villela-Varela, R. (2017). Prospectiva de las energías eólica y solar fotovoltaica en la producción de energía eléctrica. *CienciaUAT*, 11(2), 105. <https://doi.org/10.29059/cienciauat.v11i2.742>
- [19] Guacaneme, J. A., Velasco, D., & Trujillo, C. L. (2014). Revisión de las características de sistemas de almacenamiento de energía para aplicaciones en micro redes. *Información Tecnológica*, 25(2), 175-188. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642014000200020>