

Memorias del Encuentro Argentino de Ingeniería

- | Enseñanza de la Ingeniería-CAEDI
- | Gestión de la Educación en Ingeniería
- | Agrimensura, Geodesia y Ciencias de la tierra y el mar
- | Biotecnología y Bioingeniería
- | Materiales y Nanotecnología aplicada a los materiales
- | Desarrollo Tecnológico Social, Vinculación Universidad, Empresa y Estado
- | Ejercicio Profesional de la Ingeniería, Empresas y Servicios
- | Ferroviaria, Automotriz, Naval y Transporte
- | Alimentos y Agroindustria
- | Agronomía y Forestal
- | Energía, Energías Limpias, Energías Renovables y Eficiencia Energética
- | Ingeniería Sostenible, Gestión Ambiental y Cambio Climático
- | Innovación y Emprendedorismo en Ingeniería
- | Mujeres en Ingeniería y Cambio Social
- | Obras y Proyectos de Ingeniería, Infraestructura y Conservación del Patrimonio
- | Tecnología de la Información y Comunicación



Memorias del Encuentro Argentino de Ingeniería : edición 2022 / José Basterra...

[et al.] ; contribuciones de Carolina Orcola ; compilación de Martina Perduca ; prólogo de Nestor Braidot ; Jose Basterra. - 1a ed compendiada. - Corrientes : Universidad de la Cuenca del Plata. Secretaría de Políticas del Conocimiento, 2023.

Libro digital, PDF

Archivo Digital: descarga y online

ISBN 978-987-4050-08-3

1. Ingeniería. 2. Educación. I. Basterra, José, prolog. II. Orcola, Carolina, colab. III. Perduca, Martina, comp. IV. Braidot, Nestor, prolog.

CDD 620.007

ISBN 978-987-4050-08-3



9 789874 050083

Estudio de una microrred híbrida en una comunidad rural aislada del Nordeste Argentino

Vera, Luis H. ^{a,b}; Cáceres, Manuel ^b; Firman, Andres^b; Mayans Gonzalez, Raul^b; Busso, Arturo^b

^a Universidad Nacional del Nordeste, Facultad de Ingeniería. Dpto. de Termodinámica y Máquinas Térmicas

^b Facultad de Ciencias Exactas y Naturales y Agrimensura, Grupo en Energías Renovables (GER)

e-mail: – luis.horacio.vera@comunidad.unne.edu.ar

Resumen

Las microrredes actualmente se han convertido en una opción para el acceso universal a la electricidad en áreas rurales de países en desarrollo. En Argentina, existen microrredes para abastecimiento de energía y, en los últimos años, su protagonismo está aumentando en lugares donde no llega la red eléctrica convencional. El presente artículo analiza una microrred proyectada e instalada en el año 2019 para proporcionar acceso energético a los habitantes del Paraje Malvinas, Departamento de Esquina en la Provincia de Corrientes. La microrred responde a la configuración de un Sistema Híbrido Solar/Batería/Diesel. El análisis se realiza a través de valores obtenidos por simulación medidos en la microrred existente. A través de balances se determinó un sobredimensionamiento en la demanda de energía estimada, lo que deriva en que un 75% de la energía fotovoltaica no sea aprovechada, y que el generador Diesel de respaldo sea innecesario. La evaluación económica establece que, debido al alto porcentaje de energía no útil, el costo por kWh durante la vida útil del proyecto es 55% mayor al valor esperado inicialmente. Se concluye que HOMER es una herramienta de optimización eficaz para un dimensionamiento inicial de microrredes híbridas, que un proyecto con datos de entradas sin verificación adecuada lleva a un sistema que no cumple con las expectativas esperadas y, por último, se destaca la necesidad de estudios sociales y de comportamiento de usuarios rurales para estimar la curva de demanda ya que es fundamental para el dimensionado.

Abstract

Microgrids are one option for universal access to electricity in rural areas of developing countries. In The last years the microgrids for energy supply are increasing their value in places where the conventional electricity grid does not reach. This paper analyzes a microgrid projected and installed in 2019 to provide energy access to the community of Paraje Malvinas, Department of Esquina in Corrientes State. The microgrid responds to Solar/Battery/Diesel Hybrid configuration System. The analysis is carried out through values measured in the existing microgrid and obtained by simulation in HOMER software. Through balances, an oversizing in the estimated energy demand was determined, which means that 75% of the photovoltaic energy is not used, and that the backup Diesel generator is unnecessary. The economic evaluation establishes that, due to the high percentage of non-useful energy, the cost per kWh during the useful life of the microgrid is 57% higher than the initially expected value. It is concluded that HOMER is an effective optimization tool for an initial dimensioning of hybrid microgrids, that a project with input data without adequate verification leads to a system that does not achieve the expected and, finally, it is highlighted the need to determine the context socio/cultural of rural community to estimate the demand curve before a dimensioning..

Palabras claves: Energías Renovables, Microrred, software HOMER.

INTRODUCCIÓN

Se estima que 800 millones de personas en todo el mundo carecen de acceso a la electricidad, de las cuales el 80% vive en zonas rurales. Argentina con 45,38 millones de personas posee un 98,8 % de acceso a la energía [1], el 1,2% de habitantes sin este servicio se encuentra en áreas rurales alejados de la red eléctrica. La extensión de la red para estas zonas rurales se

enfrenta a numerosos desafíos, algunos de ellos son: la baja densidad de población, distancia de la red a pequeñas comunidades, altos costos de transmisión y distribución de electricidad, incluidas pérdidas, baja demanda de energía, bajo nivel de industrialización y de apoyo financiero limitado. Además, el retorno de la inversión no es atractivo.

Considerando al acceso universal a la energía como un factor vital para el desarrollo sostenible de cualquier país, se han implementado diferentes enfoques tecnológicos disponibles para llevar la energía a zonas aisladas. Entre las tecnologías usadas se encuentran los sistemas de energía renovable, como la solar fotovoltaica, que ha resultado muy beneficioso para cientos de familias rurales en Argentina [2]. Sin embargo, los principales problemas del uso de sistemas aislados individuales para el suministro de energía es su intermitencia en el tiempo y baja confiabilidad. Esta última asociada principalmente a la vida útil limitada de las baterías frente a los otros componentes del sistema. Además, en sistemas aislados, las baterías son el elemento imprescindible para el abastecimiento continuo de energía y, a su vez, son las que poseen el mayor costo y menor confiabilidad [2].

Otra opción que proporciona una solución simple, que puede diseñarse para diferentes capacidades, es un generador que utiliza combustible Diesel para satisfacer la demanda de electricidad. En esta opción se destaca el costo de operación, transporte de combustible y mantenimiento, además de las emisiones de CO₂ producidas al quemar el combustible.

Para llegar a una respuesta que soluciones los inconvenientes presentados para la tecnología Diesel y Solar trabajando de forma individual, se plantea que el uso de un sistema de energía híbrida puede solucionar estos problemas.

El sistema de energía híbrida combina dos o más dispositivos de conversión de energía o dos o más de dos combustibles para la generación de energía [3]. El objetivo principal de la integración de recursos de energía renovable en un sistema de energía híbrida que suministre electricidad continua, ahorre combustibles fósiles y la emisión de CO₂ derivada de su uso. Además, se destaca que, realizando un adecuado dimensionamiento, los sistemas híbridos bajan el costo de kWh demandado a lo largo de la vida útil del proyecto [4].

Cuando se considera responder a la demanda proyectando en una comunidad rural aislada se puede realizar a través de un sistema individual para cada usuario, o a través una microrred. Esta última opción se puede definir como un sistema de energía regional o comunal que comprende diferentes fuentes de energía (renovables y/o no renovables) con el fin de optimizar la calidad, confiabilidad, eficiencia, sostenibilidad con los beneficios económicos correspondientes (costo de energía más barato) y beneficios ambientales (si se utilizan fuentes de energía renovables). Las fuentes de energía renovable que podrían implementarse en una microrred incluyen la energía solar, eólica, hidráulica y de biomasa, mientras que la batería, el Diesel, el

petróleo y el gas podrían implementarse como opciones de respaldo.

La principal tecnología de generación utilizada en microrredes aun es a través de generadores Diesel, situación que está cambiando rápidamente con el advenimiento de microrredes híbridas [5].

Por áreas geográficas, Asia y Norteamérica son claramente las regiones con mayor peso en el reparto de la capacidad instalada en microrredes [6]. Se espera además que, durante los próximos años, sea en estos dos ámbitos geográficos donde se produzca el principal crecimiento del mercado, con expansiones muy por encima de las previstas en Europa, América Latina, Oriente Medio o África.

En la Fig. 1 se presenta la capacidad de las microrredes instaladas por región y la inversión que conlleva la instalación de las mismas considerando un periodo comprendido entre los años 2015 y 2024 [7].

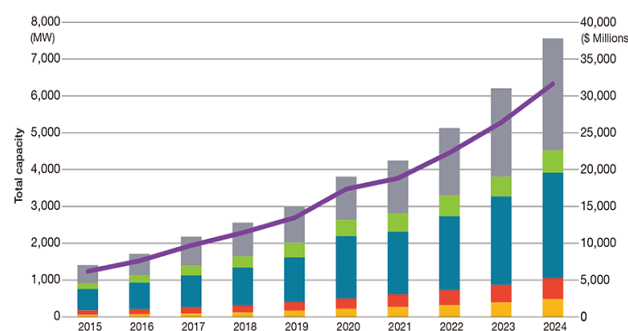


Figura 1. Distribución y proyección de la capacidad de microrredes instaladas por región desde 2015 a 2024.

En Argentina, existen pocas microrredes para abastecimiento de energía, su aplicación en entornos urbanos es casi nula, y su protagonismo está aumentando en lugares aislados, donde no llega la red eléctrica convencional. Un relevamiento de microrredes instaladas o proyectadas en Argentina, a partir del año 2018, identifican que su utilización sigue principalmente dos vertientes, una para responder al acceso universal de la energía y otro para disminuir el consumo de combustibles fósiles de sistemas con generación Diesel, ambas vertientes asociados a topologías híbridas. En los últimos años, con el objetivo de desplazar el consumo de combustible fósil, de un generador que abastece de energía a una comunidad aislada, se han extendido los proyectos de hibridación de generación, con la adición de energía, solar, eólica, hidráulica y almacenamiento en baterías. Se observa que estas iniciativas son realizadas a través de financiamiento de entes multilaterales y en algunos casos por entidades gubernamentales locales. Las once microrredes licitadas por PERMER [2], desde el año 2019, involucra unos 1.250 hogares beneficiados en

comunidades aisladas, mediante una inversión próxima a los US\$ 21 millones.

Microrred Paraje Malvinas

Para este estudio de caso se toma una comunidad aislada localizada en un Paraje en el municipio de Esquina, provincia de Corrientes, Argentina.

La provincia de Corrientes está ubicada geográficamente al noreste del país, en la “Región del Norte Grande” argentino, limitando al oeste y norte con el río Paraná que la separa de Santa Fe, Chaco y Paraguay, al noreste con Misiones, al este con el río Uruguay que la separa de Brasil y Uruguay, y al sur con Entre Ríos. Con una superficie de 88.199 km², ocupa el puesto decimosexto en extensión territorial de la Argentina, cuenta con 25 Departamentos y 75 Municipios y una población de 1.111.052 habitantes

El Paraje Malvinas localizado en el sur de la provincia (Latitud 29°38'09.34 S, Longitud 58°59'15.86 O) no está conectado a la red eléctrica convencional y posee una microrred híbrida para suministrar la energía requerida por los habitantes. El total de habitantes del paraje se estima en 2000 personas, pero para esta primera etapa se analizó la microrred implementada en el año 2019 que beneficia a 90 familias (342 personas), cinco escuelas, una comisaría y un Centro Asistencial.

En la Fig. 2 se presenta a localización del Paraje en la cual se encuentran las viviendas de los beneficiarios (en un área de aproximadamente 60 km²), dentro de los límites de la provincia de Corrientes.

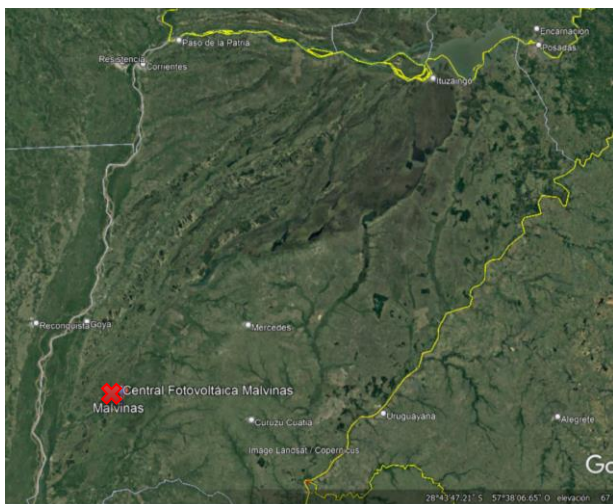


Figura 2. Localización de Paraje Malvinas, Corrientes, Argentina.

La selección del Paraje Malvinas se basa en el hecho de ser la primera microrred híbrida implementada en la provincia, así como la primera del Norte Argentino, y se transforma en un caso de estudio cuyos aciertos y

errores, a través de un enfoque similar, puede resolver los problemas relacionados con la falta de acceso a la electricidad para las comunidades rurales cercanas y de países en desarrollo con similares condiciones.

El proyecto e implementación de la denominada Central Híbrida Solar –Diesel para Microrred de Pje. Malvinas surgió a través de la iniciativa de la Secretaría de Energía de la provincia de Corrientes como parte de la planificación energética provincial y los objetivos de cumplimiento del acceso universal a la energía.

DISEÑO DE MICRORREDES

En la literatura sobre el diseño de microrredes [8], existen diferentes metodologías y estudios para la implementación de estos sistemas aislados para el acceso a la electricidad en áreas rurales no electrificadas.

En este artículo se presenta una microrred aislada híbrida, solar fotovoltaico/batería/ diésel, existente en una comunidad rural en el Nordeste Argentino, para la cual se analiza el comportamiento y adecuado dimensionamiento utilizando el software HOMER [9]. HOMER es un software de optimización y simulación de sistemas híbridos mediante la cual se pueden realizar el dimensionamiento y comparaciones técnico/económicas analizando simultáneamente diferentes configuraciones y potencias de los componentes de generación y almacenamiento.

El diseño de microrredes híbridas ha sido abordado de diferentes formas, se ha encontrado una gran cantidad de estudios sobre el diseño, análisis e implementación de microrredes realizados en países en desarrollo con una alta prevalencia de aldeas sin electricidad, como India, Bangladesh, Malasia, y la región de África Subsahariana [10]. En varios artículos son muy utilizados los softwares que utilizan procedimientos que permiten optimizar la configuración de sistemas híbridos en microrredes. La herramienta de optimización utilizada por varios autores es el software HOMER. Este software ha sido desarrollado por el laboratorio nacional de energía renovable de los Estados Unidos (NREL), se destaca su flexibilidad en cuanto a combinación de diferentes tipos de sistemas que permite simular, y ofrece la posibilidad de conocer de manera detallada la operación del sistema obtenido. Por esta razón es la herramienta que se utilizará para el análisis a realizar en el presente artículo. Dentro de este mismo enfoque, la optimización basada en la simulación es el rumbo ampliamente utilizado para diseñar sistemas de energía a pequeña escala y realizar evaluaciones económicas sobre ellos. Algunas herramientas de optimización comunes son HOMER, Hybrid2 y HOGA. Los

sistemas de energía renovable poseen una complejidad debido a la naturaleza transitoria de su producción energética, y la variación en la disponibilidad de estos recursos renovables. Frente a estas posibilidades, Chatterjee y Rayudu [11] aplicaron la herramienta informática HOMER porque tiene la capacidad de manejar sistemas de energía a pequeña escala con series de tiempo horarias y puede incorporar los efectos de las incertidumbres de las diferentes variables de entrada, como los tamaños de carga, el precio del combustible y la disponibilidad de recursos.

El objetivo de este trabajo es abordar el estudio de la microrred híbrida para determinar, mediante la simulación en HOMER, si la configuración existente es la más adecuada técnica y económicamente para brindar el acceso a la energía eléctrica. Para realizar esta comparación se utiliza como criterio inicial el costo nivelado de energía más bajo que se ajuste a los atributos de asequibilidad y confiabilidad del sistema de energía para la comunidad en estudio y considerando los componentes presentes en la central. Luego se analizará y comparará con resultados medidos, para finalmente evaluar la adecuación del sistema existente con las necesidades de la comunidad de Paraje Malvinas.

METODOLOGÍA

El objetivo de la simulación es conocer las características de operación de los sistemas híbridos para satisfacer la demanda de comunidades aisladas, los problemas que pudieran darse y conocer también el costo de la energía producida.

El software HOMER calcula hora por hora a lo largo de un año la potencia renovable disponible comparándola con la demanda y decide, en caso de que haya exceso de energía qué hacer con ella, y si por el contrario hay déficit, decide si debe generarse con un Diesel o extraer de baterías. Una vez que se ha completado la simulación, el software, determina si se han cumplido las restricciones que el usuario ha impuesto, proporciona el dato de cantidad de energía generada, qué porcentaje de ésta viene de fuentes de energías renovables, la emisión de contaminantes, realiza también una evaluación económica, etc. El costo actual neto total (NPC) de un sistema es el valor actual de todos los costos en los que incurre el sistema durante su vida útil, menos el valor actual de todos los ingresos que obtiene durante su vida útil. Los costos incluyen costos de capital, costos de reemplazo, costos de operación y mantenimiento, costos de combustible, sanciones por emisiones y los costos de comprar energía de la red. Los ingresos incluyen el valor de salvamento y los ingresos por ventas de la red. El NPC es el principal resultado económico de HOMER, el

valor por el cual clasifica todas las configuraciones del sistema en los resultados de optimización y la base a partir de la cual calcula el costo total anualizado y el Levelized cost of Energy (LCOE) o costo nivelado de energía (LCOE). Luego de evaluar diferentes configuraciones HOMER despliega una lista de sistemas factibles, ordenados por el NPC.

El LCOE es una métrica conveniente para hacer comparaciones que permitan vincular los precios de la energía eléctrica relacionada con diferentes tecnologías de generación a lo largo de la vida del proyecto. El LCOE se puede definir como el costo de generación promedio que incluye todos los costos involucrados en el proceso de suministro de energía solar FV en el punto de conexión a la red.

Para dimensionar y analizar el sistema de energía híbrido fotovoltaico/diésel con baterías se debe proporcionar una serie de datos de entrada. El dato inicial y que debe ser considerado como el principal elemento para el correcto dimensionado de componentes de la microrred es el perfil de demanda de energía horaria, que debe ser adecuadamente estimado en función de las características de consumo de los habitantes de la región, tarea no muy simple ya que estamos frente a una comunidad sin acceso a la energía eléctrica. Este es el primer obstáculo para un apropiado dimensionamiento, ya que en general, se estima un consumo por vivienda y un perfil de demanda horario que, a menos que se haga un estudio social dentro de la comunidad, termina siendo un perfil de cargas que puede no representar lo que sucederá cuando la comunidad tenga acceso a la red eléctrica [12]. Por esta razón, es importantes trabajar con la comunidad antes de realizar el dimensionamiento para determinar a qué cargas estos habitantes tienen capacidad de acceso, no solo por la condición económica sino también por condiciones culturales.

Otros datos a tener en cuenta es el valor de radiación solar mensual del sistema fotovoltaico, el costo inicial de cada componente: módulo fotovoltaico, generador diésel, convertidor de energía, almacenamiento, costo del combustible Diesel, vida útil del proyecto, etc. Los datos de radiación solar de la ubicación del proyecto se tomaron de los datos en línea del departamento meteorológico de la NASA a través de la interface del HOMER. El costo de capital de cada equipo tomado del pliego de la Central Híbrida Solar –Diesel para Microrred de Pje. Malvinas, disponible en las dependencias de la Secretaria de Energía de la provincia de Corrientes y otros costos menores ajustados según información facilitada por la empresa ganadora de la licitación.

Los componentes y sistema instalado son detallados en los siguientes apartados y no se ha utilizado la

optimización del sistema ya que la intención es tener los valores anuales simulados y comparar con las magnitudes medidas en la central.

CONFIGURACIÓN DEL SISTEMA HÍBRIDO

La Microrred Malvinas-Corrientes es una central híbrida solar fotovoltaica con baterías, y grupo diésel de apoyo, construida para alimentar a la población de Paraje Malvinas.

La potencia solar instalada es de 366 kWp, el sistema de baterías tiene una capacidad de 730 kWh y el generador diésel es de 150 kVA.

Según la información recopilada la microrred fue diseñada conforme a los datos históricos de consumo suministrados por la Secretaría de Energía de Corrientes. El valor de demanda energética estimado inicialmente fue incrementado en un 20% considerando la instalación de nuevos equipos de consumo en los domicilios (en el año cero), alcanzando una potencia máxima demandada de 54 kW y una proyección de aumento de la demanda del 2% anual durante 10 años, finalmente resultando en una potencia de diseño de 66 kW. No se ha podido obtener la fuente de donde se han extraído esos datos históricos ya que no existía acceso a la red de energía en esa zona. Esta potencia fue distribuida en función de los diferentes perfiles de consumo de los usuarios (también provista por Secretaria de Energía y se estima que se consideró un perfil de demanda urbano de tipo austero), con variaciones de potencia demandada a lo largo del día. Para la simulación se tomó el comportamiento medio mensual según el modelo informado y se agregó un aleatoriedad diaria y horaria del $\pm 10\%$, de esta manera se tiene un comportamiento que presenta variaciones a lo largo del día y de los meses representando un comportamiento más realista.

A. Principales componentes de la microrred

La microrred está constituida por paneles fotovoltaicos de la marca Canadian Solar de polisilicio (72 células por panel) de 325 W de potencia y una tensión de aislación de 1000V. En total, la central cuenta con 1140 paneles que, mediante un sistema de dos cuerpos de seguidores (uno con 9 mesas y el segundo con 10 mesas) de la marca Reneergy, son orientados para maximizar la producción solar. Estos seguidores son de un eje horizontal y poseen tres paneles colocados de forma horizontal uno sobre otro formando una mesa de 60 paneles, los que son accionados mediante un actuador eléctrico con un variador de frecuencia y posicionamiento por algoritmos astronómicos en tiempo real.

Los paneles están conectados en cadenas de 20 a 6 inversores ABB TRIO 50.0 de 50kW cada uno, con una asignación de entre 9 y 10 cadenas en cada inversor.

La energía solar generada por el sistema es dirigida a un contenedor de baterías PowerStore de ABB. Este consta de 8 racks de baterías Samsung SDI E2 264S de ion Litio y tres inversores PCS100 de 60kW cada uno, que vierten su energía a un transformador seco de aislamiento que ajusta la tensión a 400V. Además, el sistema se ve apoyado por un generador diésel Himoina motor Iveco de 150kVA, que es utilizado como respaldo de emergencia en el caso de que no haya producción solar o las baterías estén descargadas.

Todo el sistema es conectado a la red rural de 13.2 kV mediante un poste de seccionamiento con un transformador de 315kVA que eleva la tensión desde 400V a la tensión de red rural de distribución, con conexión a tierra en el lado de media tensión.

La operación de la planta se realiza desde un contenedor donde están instalados los armarios eléctricos y armarios de control del sistema Microrred. Este sistema se encarga de realizar el balance energético de la planta, así como la gestión de operación y alarmas. El contenedor cuenta con tres armarios eléctricos (principal, colector y servicios auxiliares) y tres armarios de control.

La Fig. 3 presenta la vista general, tomada a través de un dron, de la microrred híbrida solar/Diesel/batería localizada en Paraje Malvinas, Corrientes.



Figura 3. Vista general, tomada a través de un dron, de la microrred híbrida solar/Diesel/batería localizada en Paraje Malvinas Corrientes.

Basado en los datos de demanda, componentes y configuración que conforman la microrred de Paraje Malvinas se ha realizado la carga de los mismos en la interface que otorga el software HOMER.

En la Fig. 4 se presenta el esquema de diseño de cómo fue modelada la microrred, integrando por un lado las principales unidades de generación de energía y almacenamiento en un bus de corriente continua, para luego pasar a través de los convertidores al bus de

corriente alterna, donde se encuentran las cargas. Destacando que el generador Diesel se acopla directamente al bus de CA.

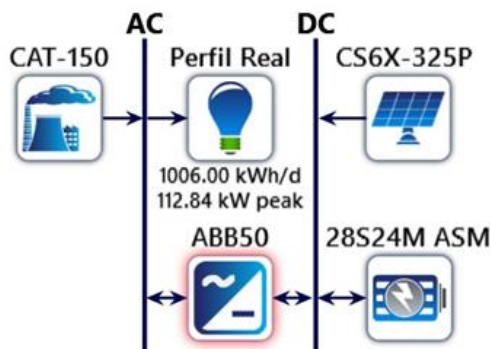


Figura 4. Configuración introducida en el software HOMER para simular la microrred.

RESULTADOS

La microrred autónoma ha sido simulada con HOMER Pro para evaluar sus características operativas y económicas. Se valoraron 80 posibles soluciones ajustadas a los datos introducidos teniendo en cuenta el diseño específico del sistema (es decir, utilización de generadores Diesel de 150 kVA, 730 kWh de capacidades de baterías, etc.) para calcular la opción con el menor NPC. Se destaca este índice porque la clasificación de los resultados de la simulación está determinada por el NPC, que representa el valor presente de todos los costos en los que incurre el sistema durante su vida útil, menos el valor presente de todos los ingresos que gana durante su vida útil. Del número total de soluciones simuladas, solo 1 resultó ser factible. Se considera factible aquella solución capaz de satisfacer los objetivos, lo que significa que se eliminaron 79 soluciones debido a las restricciones impuestas. Se realizó una simulación horaria para todos los sistemas posibles y se consideró el horizonte de planificación a 25 años.

El sistema simulado corresponde al diseño de la microrred existente, a la que denominaremos MR1. El diseño MR1 posee un índice de penetración energética de 93,5%, produce un costo actual neto total (NPC) igual a U\$D 2.417.422,00, con una inversión inicial de U\$D 902.460, lo que lleva a un costo nivelado de energía (LCOE) de 0,329 U\$D/kWh.

En los resultados de la simulación, se ha verificado que fue necesario que el generador Diesel funcionara 590 h al año distribuidos en 174 días, sin alcanzar nunca a la potencia nominal del generador y con necesidad de estar trabajando en valores de potencia menores a los recomendados (mínimo técnico). En relación al sistema de almacenamiento se configuró con un valor útil de 80% respecto a su capacidad total, obteniéndose un

estado de carga medio a lo largo del año fue del 60%. De los valores obtenidos de la simulación, para la demanda estipulada antes la implementación de la central, se observa un sobredimensionamiento de potencia del generador Diesel y una adecuada penetración de renovables y complemento de acumulación. Se debe destacar que, en este tipo de proyectos, en caso de ser financiado por el banco mundial el índice de penetración de renovables se sugiere sea mayor a 93%. Por lo cual se cumple, ya que para la configuración analizada el índice de penetración renovables es del 93,5%.

Mediciones

La microrred fue monitoreada a partir del año 2019 y de los valores que se midieron durante el año 2019, 2020 y 2021, se determinó, en primera instancia el valor de la energía demandada y a seguir se analizaron las curvas de flujo energético.

En el año 2019, aunque la central y la red de distribución de energía ya se encontraba en pleno funcionamiento, la mayoría de los usuarios del paraje aún no habían realizado el cableado, instalación de interruptores, tomas corrientes, portalámparas y tablero general en sus viviendas, por esta razón el consumo es bajo, y no es representativo.

En el año 2021 a aumentando la demanda en un 90 % respecto al mismo mes del año 2019: Para los valores de demanda del mes de septiembre de año 2020, el perfil nuevamente mantiene su tendencia y el consumo energético es un 16% menor que la presentada para el septiembre del 2021. De esta manera, después de 3 años de operación de la planta se observa que la demanda de potencia del paraje es aproximadamente 2,5 veces inferior a la esperada y, en relación al consumo energético medio diario se midió un valor de 346,75 kWh/día, para el segundo semestre del año 2021, frente al valor de 1006 kWh/día que se utilizó inicialmente para la simulación (caso MR1).

De esta manera, se advierte esta inconsistencia que impide comparar los perfiles de flujo energético simulados respecto a los medidos porque la diferencia en el perfil y valores de demanda hace que sea inadecuado dicho análisis.

La Fig. 5 presenta la curva de demanda en cargada en HOMER que corresponde al consumo medio del mes de septiembre del año 2021, con todos los usuarios del Paraje conectados sumado el consumo interno demandado por la central para su funcionamiento. El valor de consumo diario de energía medido es 368 kWh y tanto el perfil como la potencia demanda medida no responde a los valores que fueron utilizados para el diseño de la MR1.

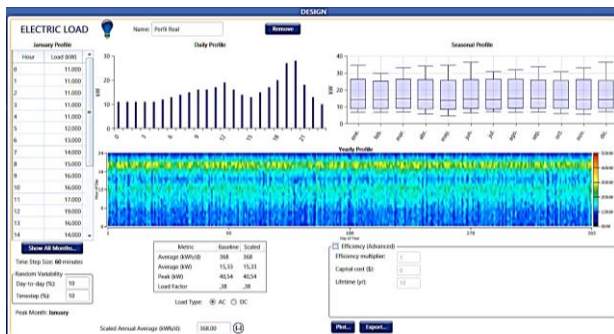


Figura 5. Perfil de demanda real para el mes de septiembre del año 2021 introducido para la simulación.

Por lo expuesto se procedió a simular el sistema existente con el perfil medio de demanda medido en la central en los últimos meses del año 2021 (347 kWh/día) con una componente aleatoria, diaria y horaria, del 10% (es decir, como es el diseño de la microrred existente, pero con perfil de real de carga).

Para esta nueva simulación, se observa que la capacidad de generación, más acumulación, es suficiente para responder adecuadamente a las demandas energéticas del Paraje, sin la necesidad del generador Diesel, es decir, se verifica un 100% de penetración renovable en el sistema. Esta situación también deriva en que no existan emisiones a la atmósfera por no quemarse combustible fósil.

Una circunstancia a destacar es que el generador Diesel ya se encuentra en la microrred y el mismo debe ser mantenido después de una cierta cantidad de horas de funcionamiento o de tiempo sin funcionamiento, y a este escenario se le debe sumar la condición de un arranque semanal para mantener en funcionamiento la aparte mecánica y circulando el combustible. Enfatizando que para los arranques del generador se debe entregar un valor de potencia que supere el mínimo técnico (en general 30% de la potencia nominal), para un adecuado funcionamiento. Condición que no se logra ya que las máximas demandas medidas, en general, no alcanzan este porcentaje, por lo cual se definió que el Diesel arrancara una vez a la semana, durante 1 hora, para valores de potencia de demanda mayores al 15% de la potencia nominal del generador. Por lo que se planteó una nueva simulación, denominada MR2, que incluye el costo de combustible para circulación y arranque semanal del Diesel. Los resultados de la simulación MR2 son presentados en la Tab. 2.

En esta nueva condición se observa que la energía excedente (que no puede ser aprovechado por la carga o para cargar baterías), es casi 4 veces superior a la utilizada. Es decir, existe un sobredimensionamiento en la capacidad de generación, y lo mismo ocurre con la capacidad de almacenamiento, ya que el estado de

carga de las baterías pocas veces llega a valores menores de 50% de su capacidad nominal, y esto se refleja en los pocos MWh/año que entrega a las cargas. Además, se debe destacar que las unidades conversores del banco de baterías tienen una capacidad de 180 kW, frente a una demanda de potencia máxima de 40 kW, por lo que se verifica que la unidad convertora también se encuentra sobredimensionada.

Tabla 2. Parámetros utilizados en la simulación de la MR2 y sus principales resultados técnicos y económicos

PARÁMETRO	VALOR
Potencia fotovoltaica	366 kWp
Capacidad de acumulación en baterías	730 kWh
Potencia Generador Diesel	150 kVA
Penetración Renovable	98,9 %
Energía anual demandada	134,3 MWh/año
Energía anual aportada por las baterías	65,6 MWh/año
Energía anual aportada por los paneles FV	135,6 MWh/año
Energía no utilizada	485,6 MWh/año
Energía anual aportada por el generador Diesel	1,5 MWh/año
Litros de combustibles consumidos	444 l/año
Horas de funcionamiento del GD	52 h/año
Emisión anual de CO2	1,2 tn/año
Capital Inicial	USD 902.460
NPC	USD 1.366.530
LCOE	0,509 USD/kWh

En la Tab. 2, los resultados de simulación del diseño MR2 presentan que el costo inicial de la microrred es el mismo que el obtenido para el diseño MR1 (como era de esperar por ser el mismo sistema), pero el costo anual neto total es aproximadamente 55% más bajo (debido a no presentar gastos en combustible). Ya el costo nivelado de la Energía (LCOE) es de USD 0,509 kWh; un 55% superior al obtenido para el caso de la MR1. La situación descrita está asociada al menor aprovechamiento de energía que podría ser aportada al sistema por el generador fotovoltaico (baja demanda).

En la Fig. 6 se presenta una semana de valores medidos de estado de carga de las baterías, generación solar y consumo de energía en la Subestación transformadora.

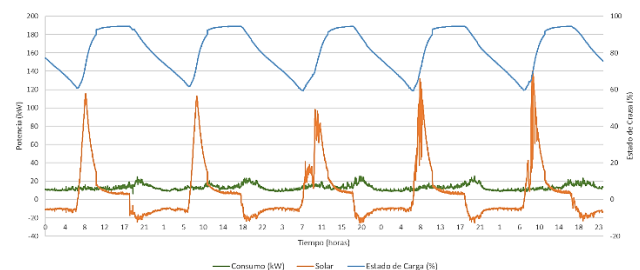


Figura 6. Valores medidos en la microrred de Paraje Malvinas mostrando los flujos energéticos durante una semana.

Para este caso se observa que el generador Diesel no entro en funcionamiento, que el perfil solar esta recortado por la baja demanda de energía de los consumos (cambio de punto de polarización del MPPT)

y el estado de carga de la batería alcanzo un valor mínimo del 60 %. Comportamiento coincidente con los resultados simulados y cuyo análisis se realizará en un posterior artículo. En esta semana en particular no se encendió el generador Diesel.

CONCLUSIONES

En este trabajo se analiza una microrred híbrida situada en un paraje rural de la provincia de Corrientes, Argentina. En primera instancia se realizó una simulación utilizando el programa computacional HOMER para verificar el dimensionamiento que se había aplicado a la microrred del Paraje Malvinas, considerando la demanda informada por la Secretaría de Energía en la génesis del proyecto. A partir de la simulación, se obtiene que el sistema responde adecuadamente a la demanda, sin presentar faltas de energía, con una Penetración Renovable del 93,5%, un aporte anual del generador Diesel de 24 MWh/año (lo que equivale a quemar 6971 l/año de gasoil y emitir 18,5 tn/CO₂).

La simulación permite concluir que el sistema es adecuado para la demanda estipulada, el inconveniente se presenta cuando después de 3 años de funcionamiento de la micro red, los valores de energía y potencia que demandan los usuarios están muy por debajo de lo estimado por Secretaría de Energía para realizar el proyecto de la microrred. Evaluando la demanda durante los 3 años se observó que en el año 2021 el consumo anual de energía es casi 3 veces menor al proyectado, lo que lleva a que todo el sistema esté sobredimensionado y no sea posible una comparación entre datos medidos y simulados.

Con el perfil de demanda medido en paraje Malvinas, en el segundo semestre del año 2021, se simuló nuevamente con HOMER el comportamiento de la microrred (con los componentes existentes), y se determinó para este caso que la Penetración Renovable puede ser del 100%, es decir, que no es necesario el generador Diesel para responder a la demanda. Condición que evita el gasto de combustible y emisión de gases por la quema de combustibles fósiles. Debido a que la central ya posee un generador Diesel, se consideró su costo inicial, mantenimiento y combustible para arranques semanales, con lo que la Penetración de Renovable bajo a 98,9%.

En relación a las características económicas se obtiene un mismo costo inicial, un LCOE de \$0,509/kWh y el NPC es de U\$D1.366.530. Es decir, la inversión del capital inicial es la misma, pero como se aprovecha menos energía que la esperada se tiene finalmente un valor de energía 57% mayor.

Como conclusión del presente trabajo se puede afirmar que las microrredes son una opción de electrificación técnica y económica conveniente para el acceso universal a la energía para comunidades rurales pero, la estimación inadecuada del comportamiento de los usuarios frente a la demanda de energía puede llevar a que un proyecto que ostentaba importantes beneficios sociales, productivos y ambientales, se transforme en un proyecto sobre valuados, que no respondan adecuadamente a los estudios iniciales y conlleva a costos a lo largo de la vida del proyecto muy superiores a los esperados.

Como continuidad de este trabajo se propone analizar los flujos energéticos medidos del año 2021 y comparar con simulaciones más ajustadas a las condiciones reales para, de esta forma, determinar una adecuada planificación de la operación del sistema que permita disminuir costos fijos y variables.

REFERENCIAS

- [1] Cozzi, L., Gould, T., Bouckart, S., Crow, D., Kim, T. Y., Mcglade, C., ... & Wetzel, D. (2020). World Energy Outlook 2020. vol, 2050, 1-461.
- [2] Vera, L. H. (2009). Análise do impacto do comportamento de baterias em sistemas fotovoltaicos autônomos.
- [3] Celik, A. N. (2002). The system performance of autonomous photovoltaic-wind hybrid energy systems using synthetically generated weather data. Renewable energy, 27(1), 107-121.
- [4] Calvo García, R. (2015). Diseño de un sistema híbrido con diésel de gran tamaño Master's thesis, Universidad Internacional de Andalucía
- [5] Pullins, S. (2019). Why microgrids are becoming an important part of the energy infrastructure. The Electricity Journal, 32(5), 17-21.
- [6] Forni, A., Asmus, P., & Willette, S. (2019). "Resiliency Microgrids: Enabling Cost-Effective Solutions to Both Mitigate Outages from Wildfire and Extreme Weather Risks and to Capture Grid Benefits." Prepared for Enchanted Rock, LLC. Navigant Research. <https://enchantedrock.com/wp-content/uploads/NavigantResearch-Enchanted-Rock-White-Paper.pdf>.
- [7] Álvaro, R., & Menéndez, J. (2020). Casos de Microrredes. Orkestra: País Vasco, Spain, 73.
- [8] Paredes L, Serrano B y Molina M, 2019 Microrredes – Una Revisión Metodológica em el Contexto Actual De Los Sistemas Eléctricos. Colegio de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos de Ecuador. Revista: CIEPI. ISSN: 2477-8958
- [9] HOMERPro x64. (National Renewable Energy Laboratory, USA) ,<http://www.nrel.gov/homer>
- [10] Longe, O.M., Oluwajobi, F.I. and Omowole, F., 2013, Electricity access in Sub-Saharan Africa – Case for renewable energy sources microgrid. Proc. IEEE NIGERCON, 253-257.
- [11] Chatterjee, A., & Rayudu, R. (2017). Techno-economic analysis of hybrid renewable energy system for rural electrification in India. In 2017 IEEE Innovative Smart Grid Technologies - Asia (ISGT-Asia) (pp. 1-5). IEEE.
- [12] Díaz, P., Peña, R., Arias, C. A., & Sandoval, D. (2010). Estudio de campo de la generación híbrida diesel/renovable para electrificación rural. In IV Conferencia Latino Americana de Energía Solar (IV ISES_CLA) y XVII Simposio Peruano de Energía Solar (XVII-SPES) (pp. 1-5)