

MICRORRED HÍBRIDA AISLADA PARA ACCESO A LA ELECTRICIDAD: ESTUDIO DE CASO EN EL NORDESTE ARGENTINO

Luis H. Vera – luis.horacio.vera@comunidad.unne.edu.ar

Universidad Nacional del Nordeste, Facultad de Ingeniería y Facultad de Ciencias Exactas y Naturales y Agrimensura,
Dpto. de Termodinámica y Máquinas Térmicas

Alexis Raúl González Mayans – rmayans@ger-unne.com.ar

Manuel Cáceres – mcaceres@ger-unne.com.ar

Andrés Firman – afirman@ger-unne.com.ar

Arturo J. Busso – ajbusso@ger-unne.com.ar

Universidad Nacional del Nordeste, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales y Agrimensura, Grupo en Energías
Renovables (GER).

Resumen. Las microrredes actualmente se han convertido en una opción para el acceso universal a la electricidad en áreas rurales de países en desarrollo. El presente artículo analiza una microrred proyectada e instalada en el año 2019 para proporcionar acceso energético a los habitantes del Paraje Malvinas, localizado al Sur-Este de la Provincia de Corrientes, Argentina (Latitud 29°38'09.34 S, Longitud 58°59'15.86 O). La microrred responde a la configuración de un Sistema Híbrido Solar/Batería/Diesel. El análisis se realiza a través de valores obtenidos por una simulación y valores medidos utilizando la configuración existente de microrred considerando el consumo energético aportado por la Secretaría de Energía, con un valor inicial de 66 kWh/día. Los resultados simulados inicialmente mostraron que la microrred suministra energía eléctrica con un costo nivelado de USD 0,329 / kWh, con emisiones de CO₂ de 18500 kg / año y una fracción renovable del 93,8%. Comprando valores medidos con los considerandos inicialmente de demanda se verifica que está muy por encima de los consumos en el Paraje, lo que lleva a realizar una nueva simulación considerando los perfiles reales de carga. A través de esta nueva simulación ajustada se comprueba que el generador Diesel no entre en funcionamiento en ningún momento para abastecer la demanda, no se utiliza el porcentaje calculado de fracción solar y resulte en un Sistema con menor rendimiento que el esperado. De los resultados de la comparación se destaca que el valor del LCOE es 57% mayor al valor esperado inicialmente. Por lo tanto, una solución de microrred híbrida de fuente de energía renovable puede ser una opción viable para electrificar áreas alejadas de la red, pero debe determinarse adecuadamente la demanda ya que es fundamental para el adecuado dimensionado de la microrred.

Palabras clave: Energía Solar Fotovoltaica, Microrred Híbrida, Simulación.

1. 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 (World Energy Outlook, 2020), 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, apoyo financiero limitado y 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 (PERMER, 2021). Sin embargo, los principales problemas del uso de sistemas aislados individuales para el suministro de energía es su baja confiabilidad principalmente asociada a las baterías se transforman en el elemento imprescindible para el abastecimiento continuo de energía, de mayor costo, menor confiabilidad y vida útil.

Otra opción que proporciona una solución simple, y 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.

Para superar estas dificultades, 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 (Celik, 2002). 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.

Cuando se plantea el abastecimiento de energía a una comunidad rural aislada, a través de un sistema híbrido, se analiza responder a la demanda proyectando a través de una microrred, la cual se puede definir como un sistema de energía

regional o comunal que comprende fuentes de energía distribuidas (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 desarrollo económico) 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, de agua y de biomasa, mientras que la batería, el Diesel, el petróleo y el gas podrían implementarse como opciones de respaldo.

En este sentido, la Agencia Internacional de Energía (Hermana y Sánchez, 2020) planteó que para 2030, más áreas rurales obtendrán acceso a la electricidad a través de microrredes aisladas con una inversión de aproximadamente \$ 320 mil millones.

En la literatura sobre el diseño de microrredes (Paredes, 2019), 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 caso de estudio, de una microrred aislada existente en una comunidad rural, se analiza el comportamiento un sistema híbrido solar fotovoltaico/batería/ diésel utilizando el software HOMER (HOMERProx64, 2021) para el análisis del sistema que se adecue a las condiciones climáticas y de demanda en la región en estudio. 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 configuración y potencias de los componentes de generación y almacenamiento.

1.1 Localización de la Microrred

Para este estudio de caso se toma un Paraje en el municipio de Esquina, provincia de Corrientes, Argentina. En este Paraje existe una comunidad aislada, la cual no está conectada a la red. Por lo tanto, se evaluó un sistema de energía híbrida que puede suministrar la electricidad requerida por los habitantes del Paraje Malvinas (Latitud 29°38'09.34 S, Longitud 58°59'15.86 O). 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.

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. Además, se destaca que es un área donde las escuelas cumplen un rol fundamental dentro la comunidad. El acceso a energía eléctrica, educación básica y la promoción de la conciencia social entre los residentes de la comunidad se identifican como una solución necesaria para los problemas de desarrollo y desarraigo.

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, minimizando el impacto ambiental y las emisiones de CO₂. Destacando el interés en la educación y el bienestar de los correntinos, utilizando un enfoque técnico para superar los desafíos socioeconómicos persistentes de los habitantes de la región.

En la Fig. 1 a) se presenta a localización del Paraje considerando el mapa de la república argentina y países limítrofes, en la Fig. 1 b) se presenta una ampliación de la zona, en la cual se distribuyen las viviendas de los habitantes del Paraje (con un área de ocupación de aproximadamente 60 km²).



Figura1- Se presenta en a) la localización de Paraje Malvinas, Corrientes, Argentina y en b) la ampliación de la zona del Paraje con puntos principales de la comunidad y caminos

En esta última figura se destacan los principales caminos, así como las escuelas, puesto policial, almacén y reservorios de agua.

El objetivo de este trabajo es abordar el estudio de la microrred híbrida existente para determinar, mediante la simulación en Homer, si la configuración existente es la más adecuada para brindar el acceso a la electricidad; basado en un 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 previos que se encuentra en la central existente. 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.

Además, se destaca que la implementación de microrredes es un camino clave para futuros proyectos para lograr los objetivos del PNUD para el año 2030.

2. ESTADO DE ARTE

El diseño de microrredes híbridas ha sido abordado de diferentes formas, utilizando herramientas informáticas como ser softwares de cálculo y optimización (Muñoz, 2012) o mediante modelos energéticos para la electrificación rural mediante criterios de evaluación (Rojas-Zerpa y Yusta, 2014). Se ha observado una gran cantidad de estudios científicos sobre el diseño análisis e implementación de microrredes que han sido realizados en países en desarrollo como India, Bangladesh y Malasia, así como en la región de Africa Sub-sahariana (Longe et al, 2013), todos con una alta prevalencia de aldeas sin electricidad.

En la literatura se reportan varios métodos para resaltar la importancia del uso de sistemas híbridos en relación al uso de sistemas de fuente única para la electrificación fuera de la red o en islas, destacando en la topología rural el almacenamiento como un elemento obligatorio a incorporar para el diseño de un sistema de energía renovable para la electrificación rural (Chatterjee et al, 2018).

También son varios los autores que han realizado un análisis técnico y económico del sistema híbrido de energía, fotovoltaico-diésel, mediante la aplicación del software de simulación y optimización HOMER (Lambert et al, 2006; Lal et.al, 2011).

Al revisar los análisis previamente hechos por diferentes autores, referentes a la planificación de microrredes, se pudo determinar, que una solución multicriterio es justificada. Se determinó que existen softwares que utilizan procedimientos que permiten optimizar las soluciones, así que lo más adecuado es la utilización de una herramienta de soporte a la decisión específica a la planificación energética que haya sido desarrollada y validada por una entidad reconocida. Se arriba a que, de las herramientas utilizadas por diferentes investigadores, el software HOMER es la más adecuada a la planeación. Este software es fiable, ha sido desarrollado por el laboratorio nacional de energía renovable de los Estados Unidos (NREL), se destaca por 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.

3. METODOLOGIA

Para dimensionar y analizar el sistema de energía híbrido fotovoltaico/diésel con baterías, mediante el uso de un software de optimización HOMER, se deben proporcionar una serie de datos de entrada. El dato inicial y que debe ser considerado como el principal es el perfil de carga por hora, 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 adecuado 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. 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 del componente como 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 Secretaría de Energía de la provincia de Corrientes y otros costos menores ajustados según información cedida por la empresa ganadora de la licitación. Para la simulación de la operación del sistema se realiza un balance de energía cada hora para cada una de las 8760 horas de un año. 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.

4. CONFIGURACIÓN DEL SISTEMA HIBRIDO.

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, resultando en una potencia máxima de diseño de 66 kW. No se ha podido obtener la fuente de donde se han obtenido esos datos históricos ya que no existía acceso a la red de energía en esa zona, por lo que se intuye que no es representativo de la región en estudio, sino estimada según datos de zonas rurales con red. Esta potencia fue distribuida en función de los diferentes perfiles de consumo de los usuarios (también provista por Secretaria de Energía), cuyo modelo medio diario se muestra en la Fig. 2 a), en la misma se observa que el modelo presentado tiene variaciones de potencia demanda 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 (Fig. 2 b).

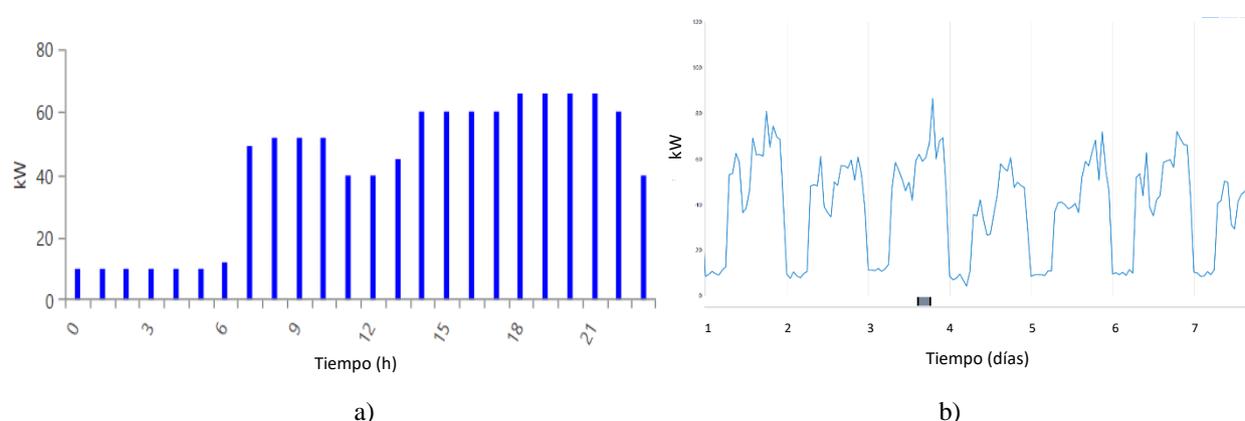


Figura 2- Se presenta en a) Perfil de demanda informado y en b) Perfil de demanda medio con la componente de aleatoriedad del 10% para ser mas representativo de la realidad.

4.1 Equipamientos principales

La microrred está constituida por paneles fotovoltaicos de la marca Canadian Solar de polisilicio (72 células por panel) de 325 W de potencia y con una tensión de salida 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 paneles a 6 inversores ABB TRIO 50.0 de 50kW, 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.

Adicionalmente, existe una estación meteorológica, sistema de vigilancia y alarma, suministro de agua, pararrayos y alimentación ininterrumpida (UPS). También existe comunicación WiFi vía radio enlace.

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/Diésel/batería localizada en Paraje Malvinas, Corrientes.



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

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

En la Fig. 4 a) 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. Em la Figura 4 b) se presenta la captura del Scada existente en la central donde se detallan las conexiones de los diferentes componentes del sistema.

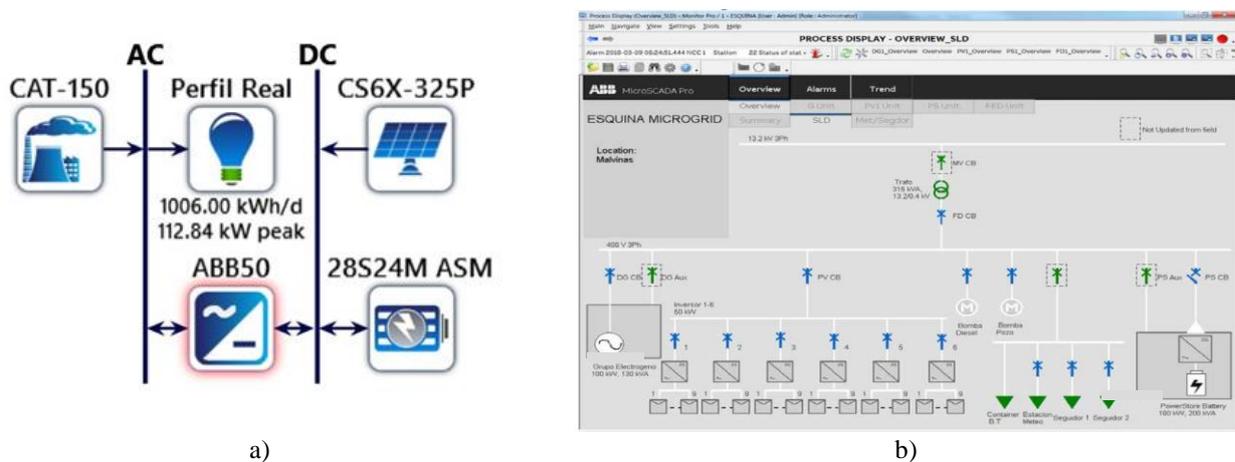


Figura 4- a) Configuración introducida en el software Homer para simular la microrred, b) Captura de pantalla donde se observa el esquema de conexión de los componentes que controla el Scada.

5. RESULTADOS.

La microrred autónoma ha sido simulada con HOMER Pro para evaluar sus características operativas y económicas. Se evaluaron 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 (Costo Presente Neto). 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.

La Tab. 1 presenta los principales parámetros de simulación del sistema con mejor desempeño y sus respectivos costos. Puede observarse que la solución corresponde a una planta fotovoltaica con capacidad de 366 kW, 150 kVA de potencia en el generador diésel, baterías de ion Litio de 730 kWh y un convertidor DC/AC con una potencia nominal de 180 kW

(es decir, como es el 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 USD 2.417.422,00, con una inversión inicial de USD 902.460, lo que lleva a un costo nivelado de energía (LCOE) de 0,329 USD/kWh.

Tabla 1 –Parámetros utilizados en la simulación de la MR1 y sus principales resultados técnicos y económicos.

PARÁMETRO	VALOR
Potencia demanda	66 kW
Potencia fotovoltaica	366 kWp
Capacidad de acumulación en baterías	730 kWh
Potencia Generador Diesel	150 kVA
Penetración Renovable	93,5%
Energía anual demandada	376 MWh/año
Energía anual aportada por las baterías	154 MWh/año
Energía anual aportada por los paneles FV	345 MWh/año
Energía no utilizada	271 MWh/año
Energía anual aportada por el generador Diesel	24 MWh/año
Litros de combustibles consumidos	6971 l/año
Horas de funcionamiento del GD	590 h/año
Emisión anual de CO ₂	18,5 tn/año
Capital Inicial	USD 902460
NPC	USD2417422
LCOE	0,329 USD/kWh

Es importante tener en cuenta que en la simulación, para satisfacer las restricciones manteniendo el NPC al mínimo factible, la carga demanda es satisfecha al 100% (es decir que no hay falta de energía en el sistema). Esta condición de abastecimiento de la demanda se obtiene del flujo energético entre generación Diesel, almacenamiento y generación solar. En los resultados 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 menores a los recomendados (mínimo técnico). En relación al sistema de almacenamiento se configuro con un valor de carga del 95% profundidad de descarga máxima del 85% obteniéndose un estado de carga medio a lo largo del año fue del 60%.

5.1 Mediciones en la Microrred

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 la Fig. 5 a) se presenta el perfil horario medio de la demanda energética para el mes de septiembre del año 2019, y en la Fig. 5 b) la demanda para igual mes del año 2021. Se debe mencionar que la Fig. 5 a), 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. La Fig. 5 b) corresponde al mes de septiembre del año 2021, con todos los usuarios del Paraje conectados; en dicha figura se observa que tanto el perfil como la potencia demanda no responde a los valores que brindo la secretaría de energía y que fueron utilizados para el diseño de la MR1.

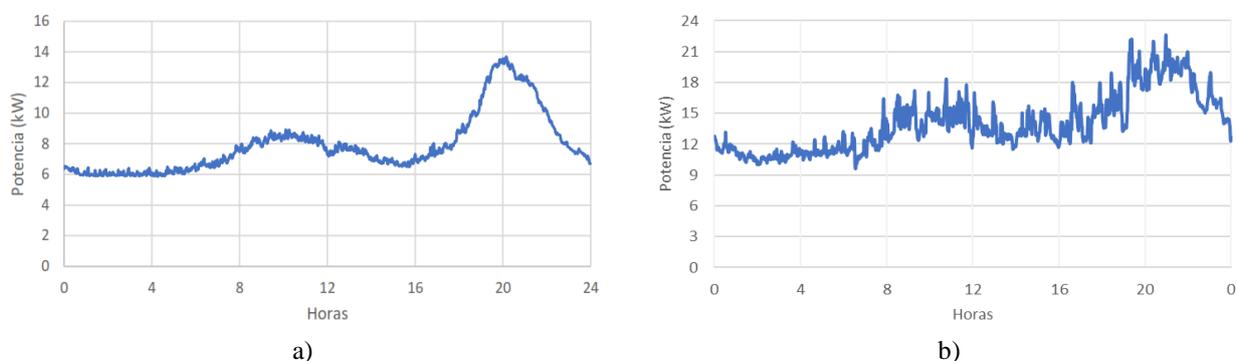


Figura 5- a) Perfil horario medio de la demanda energética para el mes de septiembre del año 2019, y b) demanda para igual mes del año 2021

En las figuras anteriores se observa que las demandas medias diarias, del mes de septiembre de 2019 y del mes de septiembre de año 2021, mantienen perfiles similares, conservando la tendencia de consumo en los horarios picos, valles

y resto pero, 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.

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.

Por lo expuesto se procedió a simular el sistema existente con el perfil medio de demanda obtenido en los últimos meses (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 demanda siguiendo el perfil real de carga, a la que denominaremos MR2), obteniendo los resultados presentados en la Tab. 2.

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

PARÁMETRO	VALOR
Potencia demanda	66 kW
Potencia fotovoltaica	366 kWp
Capacidad de acumulación en baterías	730 kWh
Potencia Generador Diesel	150 kVA
Penetración Renovable	100 %
Energía anual demandada	127 MWh/año
Energía anual aportada por las baterías	62 MWh/año
Energía anual aportada por los paneles FV	127 MWh/año
Energía no utilizada	492 MWh/año
Energía anual aportada por el generador Diesel	0 MWh/año
Litros de combustibles consumidos	0 l/año
Horas de funcionamiento del GD	0 h/año
Emisión anual de CO2	0 tn/año
Capital Inicial	USD 902.460
NPC	USD1.309.056
LCOE	0,517 USD/kWh

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.

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. Además, se debe destacar que las unidades convertidores del banco de baterías tienen una capacidad de 180 kW, frente a una demanda de potencia máxima de 33 kW, y una demanda media anual de 14,5 kW, por lo que se verifica que la unidad convertidora también se encuentra sobredimensionada.

En la Tabla 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, operación y mantenimiento del generador Diesel). Ya el costo nivelado de la Energía (LCOE) es de USD 0,517 kWh, es decir un 57% superior al obtenido para el caso de la MR1. La situación descripta está asociada al menor aprovechamiento de energía que podría ser aportada al sistema por el generador fotovoltaico (baja demanda).

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 (*service*), 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.

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. 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 70 %.

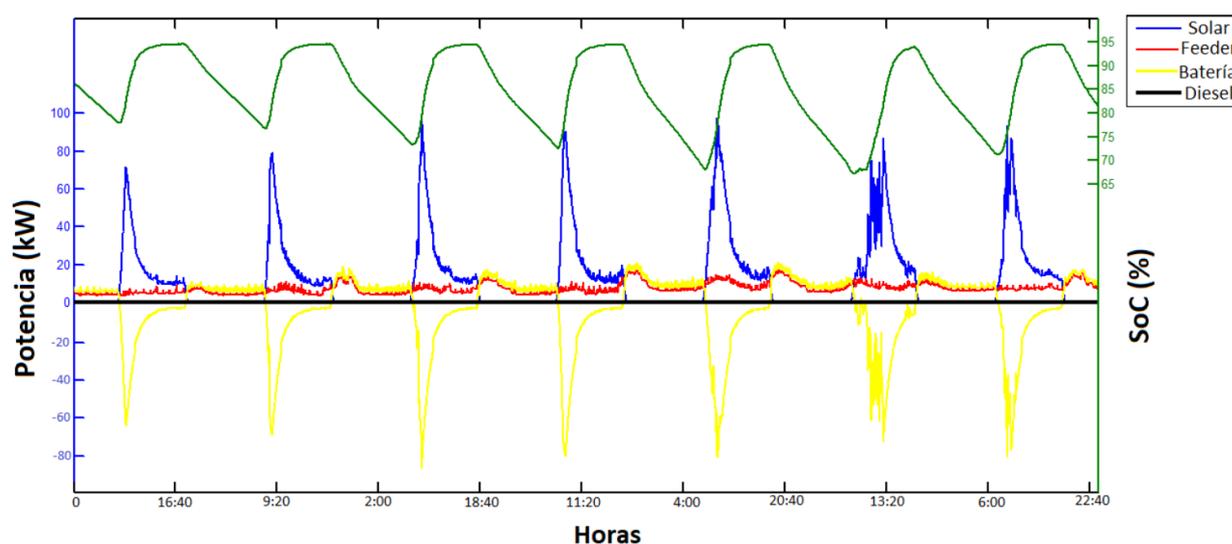


Figura 6 – Valores medidos en la microrred de Paraje Malvinas mostrando los flujos energéticos durante una semana.

6. CONCLUSIONES

En este trabajo se analiza una microrred híbrida situada en un paraje rural de la provincia de Corrientes, Argentina. Se evaluó el comportamiento de la microrred conformada por: 366 kWp de módulos fotovoltaicos montados sobre un seguidor solar de un eje (E-O), 5 inversores de 50 kW, un banco de baterías de ion Litio de 730 kWh, con un convertidor CC-CA de 180 kW y un generador Diesel de 150 kVA. Este sistema abastece de energía a la demanda de un paraje rural aislado donde viven 90 familias, hay 5 escuelas, un puesto policial y un centro asistencial. 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, y el flujo energético para esta situación se realiza con 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 es 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. En relación a las características económicas se obtiene un mismo costo inicial, un LCOE de \$0,517/kWh y el NPC es de USD1.309.056. 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 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

- 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.
- 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.

- Hermana R, Sánchez J, 2020. Casos de microrredes. Instituto Vasco de Competitividad-Fundación Deusto. ISSN 2340-7638
- HOMERPro x64. (National Renewable Energy Laboratory, USA) ,<http://www.nrel.gov/homer>
- Lal, D. K., Dash, B. B., & Akella, A. K. (2011). Optimization of PV/wind/micro-hydro/diesel hybrid power system in HOMER for the study area. *International Journal on Electrical Engineering and Informatics*, 3(3), 307.
- Lambert, T., Gilman, P. and Lilienthal, P., 2006, Micropower system modelling with HOMER, integration of alternative sources of energy. John Wiley & Sons Inc. chapter 15: 379–415.
- 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.
- Muñoz Maldonado, Y. A. (2012). Optimización de recursos energéticos en zonas aisladas mediante estrategias de suministro y consumo (Doctoral dissertation, Universitat Politècnica de València).
- 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: CIEEPI. ISSN: 2477-8958
- PERMER, 2021 Proyecto de Energías Renovables en Mercados Rurales. <https://www.argentina.gob.ar/economia/energia/permer>
- Rojas-Zerpa, J. C., & Yusta, J. M. (2014). Methodologies, technologies and applications for electric supply planning in rural remote areas. *Energy for sustainable development*, 20, 66-76.
- World Energy Outlook, 2020, <http://www.worldenergyoutlook.org/publications/weo-2020/>.

ISOLATED HYBRID MICROGRID FOR ACCESS TO ELECTRICITY: CASE STUDY IN NORTHEAST ARGENTINE

Abstract. *Microgrids have now become an option for universal access to electricity in rural areas of developing countries. This article analyzes a microgrid designed and installed in 2019 to provide energy access to the inhabitants of Paraje Malvinas, located in the South-East of the Province of Corrientes, Argentina (Latitude 29°38'09.34 S, Longitude 58°59'15.86 W). The microgrid responds to the configuration of a Solar/Battery/Diesel Hybrid System. The analysis is carried out through values obtained by a simulation and values measured using the existing microgrid configuration considering the energy consumption provided by the Secretary of Energy, with an initial value of 66 kWh/day. The simulated results initially showed that the microgrid supplies electricity with a levelized cost of US\$0.329/kWh, with CO₂ emissions of 18,500 kg/year and a renewable fraction of 93.8%. Comparing values measured with the initially considering demand, it is verified that it is well above the consumption in the Paraje, which leads to a new simulation considering the real load profiles. Through this new adjusted simulation, it is verified that the Diesel generator does not come into operation at any time to supply the demand, the calculated percentage of solar fraction is not used and results in a System with lower performance than expected. From the results of the comparison, it stands out that the LCOE value is 57% higher than the initially expected value. Therefore, a hybrid microgrid solution from a renewable energy source can be a viable option to electrify areas far from the grid, but the demand must be properly determined since it is essential for the adequate dimensioning of the microgrid.*

Key words: *Photovoltaic Solar Energy, Hybrid Micro Grid, Simulation*