

An optimal stand-alone power microgrid configuration for rural electrification in Mexico

Angel Oswaldo Gama Camacho*, Kelly Joel Gurubel Tun*,
Alberto Coronado Mendoza*, Natalia Naval Martín**

**Departamento de Ingenierías, Universidad de Guadalajara, CUTONALÁ, Av. Nuevo Periférico No. 555, Ejido San José Tateposco, Tonalá, Jalisco, 48525, México*

***Departamento de Ingeniería Eléctrica, Universidad de Zaragoza, Pedro Cerbuna 12, 50009, Zaragoza, España*

Abstract: In this paper, a hybrid wind-solar microgrid with battery storage aimed to bolstering remote and rural economies in Mexico (Alamos, Sonora and Petatlan, Guerrero) is presented. A load demand profile based on local economic activities is proposed and the optimal system sizing is obtained using a genetic algorithm (GA) and particle swarm optimization (PSO), both programmed in MATLAB, minimizing the global cost, and analyzing the cost of energy. The results are compared with a grid extension showing that schemes are feasible, since they present good stability and a lower cost than the extension of distributed networks.

Keywords: optimization, microgrid, genetic algorithm, particle swarm, Mexico, rural

1. INTRODUCCIÓN

El acceso a la electricidad en zonas rurales remotas representa uno de los principales problemas a nivel mundial. Particularmente en México, en 2021 fue lograda una cobertura del 99.2%. Sin embargo, se estima que aún se tienen más de un millón de habitantes pendientes por electrificar (CFE, 2021). A partir de ello, se han impulsado programas que atienden este problema como el Fondo de Servicio Universal Eléctrico (FSUE), el cual desde 2017 ha lanzado convocatorias públicas para elaborar de electrificación en zonas marginadas del país. De estas, el 75% serían atendidas mediante una extensión en la red de distribución y el 25% mediante el uso de sistemas fotovoltaicos aislados con almacenamiento en baterías (INECC, 2021).

Entre los años 2021 y 2022 el FSUE recibió 814 solicitudes de electrificación distribuidas en 28 estados de la república, de los cuales el 38% corresponden a estados del noroeste (Chihuahua, Sinaloa, Sonora y Durango) y el 27% estados del suroeste como Guerrero, Oaxaca y Veracruz (SENER, 2022). Aunque la propuesta en un principio fue positiva, en realidad la extensión de la red de distribución no es viable para ciertas comunidades y los sistemas fotovoltaicos aislados implementados no satisfacen un consumo importante con impacto a la calidad de vida, ya que no consideran aspectos como la conservación de alimentos, confort térmico en las viviendas y actividades económicas que se realizan en zonas rurales como la agricultura y la ganadería. Por otro lado, se ha pretendido implementar el mismo dimensionamiento para distintas zonas del país cuando el recurso disponible difiere entre ellas, siendo necesario una evaluación del recurso en cada zona a electrificar. Aunado a

lo anterior, se sabe que la naturaleza misma de las fuentes renovables al utilizarse individualmente provoca intermitencias en la generación de energía debidas a factores atmosféricos y meteorológicos (Abualigah et. al. 2022).

Una solución a este tipo de problemas es la implementación de micro redes híbridas que involucren varias fuentes renovables, con la finalidad de obtener un sistema de generación más estable. Puntualmente los sistemas eólico-solar han sido muy estudiados, debido a que, la energía eólica y la energía solar resultan tener gran complementariedad entre ellas, ya que, la ausencia de radiación solar durante la noche y en periodos de nubosidad, es llenada en parte por la presencia del recurso eólico y viceversa. Además, la implementación del almacenamiento de energía en baterías da el soporte necesario durante periodos donde el recurso no sea el suficiente para satisfacer la demanda de consumo.

Por otro lado, en la búsqueda de sistemas de generación económicamente factibles y eficientes, es necesario optimizar el dimensionamiento de las tecnologías para garantizar el mejor uso del recurso, minimizando los costos de inversión tan importantes en análisis financieros de proyectos de mitigación de déficit de electrificación en zonas rurales. Un ejemplo de ello es el estudio de un sistema híbrido solar-eólico con almacenamiento en baterías (PV-WT-BATT) en zonas rurales de Haití, en el cual se obtiene el dimensionamiento óptimo minimizando el costo de la energía (COE). Se encuentra que el COE es menor al costo de producir electricidad mediante un generador diésel (Wesley et. al. 2020). Belboul et. al. (2022) plantean un modelo de optimización de dimensionamiento mediante técnicas metaheurísticas a sistema fotovoltaico-eólico-diésel-baterías para satisfacer la demanda de consumo de quince casas

habitación en una zona rural de Djelfa, Argelia. Se obtienen diferentes configuraciones del sistema minimizando el COE y la probabilidad de pérdida de suministro de potencia (LPSP), encontrando gran factibilidad económica del sistema.

Otro país que ha analizado la implementación de sistemas PV-WT-BATT es Camerún, particularmente en la ciudad de Mbouda. Fosso et. al. estudian este tipo de sistemas como solución a una demanda compuesta por los servicios básicos que necesitaría una comunidad para elevar su calidad de vida de forma considerable (viviendas, hospitales, escuelas y negocios), encontrando que este tipo de sistema presenta alta viabilidad de implementación en comparación a la red de distribución.

Localmente, se sabe que el país se encuentra dentro del cinturón solar global ($\pm 35^\circ$ con respecto al ecuador), en el cual la radiación global recibida es óptima para desarrollar el potencial solar. Los niveles de irradiancia global anual promedio son mayores a los 6 kWh/m²-día, principalmente en las regiones Noroeste, Centro y Occidente (REFERENCIA).

Por su parte, el recurso eólico en el país es de gran potencial de explotación, ya que se llegan a presentar velocidades del viento promedio desde 1 hasta 4.7 m/s en estados del Noroeste y Sureste.

En este trabajo, se propone una micro red híbrida PV-WT-BATT aplicada a dos comunidades rurales (Álamos, Son. y Petatlán, Gro.) consideradas en las convocatorias del FSUE, donde el dimensionamiento de ésta es optimizado metaheurísticamente mediante algoritmos genéticos (GA) y enjambre de partículas (PSO), minimizando el costo anualizado total (A_c) garantizando un porcentaje de menos del 10% en LPSP y se calcula el costo de la energía. Se consideran comunidades de cinco viviendas y un sistema de riego para cultivos de agricultura en la demanda de consumo. Los resultados obtenidos son comparados con el costo de extensión de la red de distribución hasta las comunidades.

2. MICRORRED HÍBRIDA

En la figura 1, se muestran los componentes de la micro red híbrida de generación, la cual está integrada por diferentes tecnologías como módulos fotovoltaicos, turbinas eólicas verticales, baterías de ácido-plomo (ciclo profundo), así como dispositivos de control como inversores y reguladores de carga (Tabla 2).

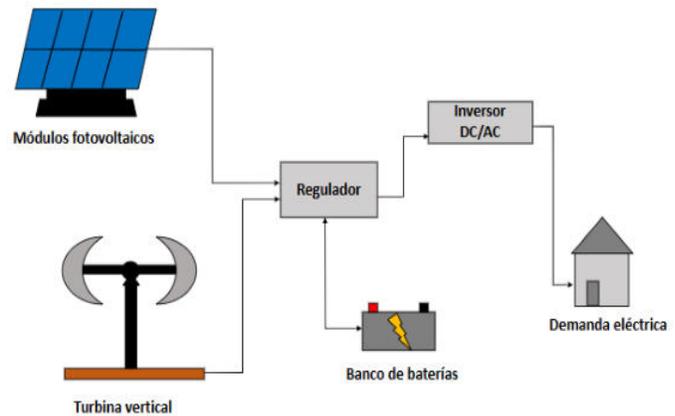


Fig. 1. Esquema del sistema de generación propuesto.

2.1 Propuesta de perfil de consumo para casas habitación

Se propone un nuevo perfil de consumo eléctrico para viviendas en zonas marginadas o rurales con una dimensión de 48 m², a partir de consideraciones de necesidades básicas para las actividades cotidianas. Los criterios utilizados en los dispositivos propuestos engloban aspectos de conservación y preparación de alimentos, iluminación en toda la vivienda, confort térmico y entretenimiento. Por otro lado, se consideran equipos utilizados en un sistema de riego para cultivos, ya que la agricultura es una de las principales actividades económicas en zonas rurales. Los dispositivos considerados en la propuesta, las horas de uso y sus respectivos consumos se muestran en la tabla 1. En la figura 2, se muestra la estimación del perfil de demanda por horas durante un día (Samy et. al. 2020)

Tabla 1. Consumo eléctrico por día de los dispositivos considerados en el perfil de demanda

| Equipo | No. de equipos | Potencia (W) | Horas uso | Consumo (Wh/día) |
|--|----------------|--------------|-----------|------------------|
| Casa habitación | | | | |
| Iluminación | 6 | 11 | 9 | 594 |
| Ventilador | 1 | 60 | 10 | 600 |
| TV 32" LED | 1 | 150 | 6 | 900 |
| Refrigerador | 1 | 220 | 24 | 5280 |
| Licudadora | 1 | 600 | 0.1 | 60 |
| Dispositivo recargable | 2 | 12 | 9 | 216 |
| Sistema de riego para agricultura | | | | |
| Bomba de riego | 2 | 373 | 3 | 2238 |
| Iluminación | 2 | 11 | 5 | 110 |

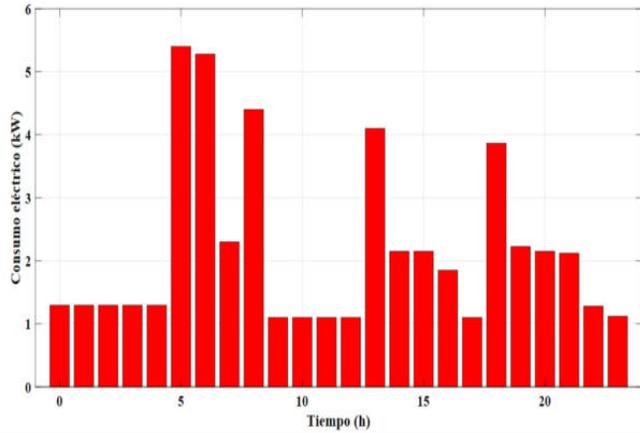


Fig. 2. Perfil de consumo eléctrico diario.

2.2 Modelo matemático del sistema de generación

En general, para realizar el proceso de optimización del sistema, el primer paso consiste en definir el modelo matemático que simule la potencia generada por las fuentes renovables, así como el despacho en baterías.

Se considera el modelado matemático de la potencia generada por un módulo fotovoltaico mediante la ecuación:

$$P_{PV}(t) = P_{NOMPV} D_f \frac{G(t)}{G_{STC}} \left[1 + \alpha (T_c(t) - T_{cSTC}) \right] \quad (1)$$

donde P_{PV} es la potencia generada por el módulo, P_{NOMPV} es la potencia nominal del módulo a condiciones estándar (temperatura de 25 °C e irradiancia de 1000 W/m²), la cual por lo general está estipulada por el fabricante. D_f (85%) es un factor de reducción de potencia considerado como una pérdida por otros factores ajenos a la temperatura. $G(t)$ y G_{STC} son la irradiancia solar en un tiempo determinado y la irradiancia a condición estándar respectivamente, α es el coeficiente de temperatura cuyo valor es -3.9×10^{-3} (%/°C) para las celdas del tipo monocristalino y policristalino, mientras que $T_c(t)$ y T_{cSTC} son la temperatura de la celda en un tiempo t y la temperatura estándar. La temperatura de la celda se calcula de la siguiente manera:

$$T_c(t) = T_a(t) + 0.0256 G(t) \quad (2)$$

Si consideramos N paneles fotovoltaicos, la potencia total generada en un tiempo determinado será (Nsafon et. al. 2020):

$$P_{PVT}(t) = N_{PV} P_{PV}(t) \quad (3)$$

Por su parte, para el modelado de los aerogeneradores para velocidades bajas, la potencia generada en un tiempo t está dada por:

$$P_{wt}(t) = \begin{cases} 0 & \text{para } v(t) \leq v_{ci} \\ P_r \frac{v(t) - v_{ci}}{v_r - v_{ci}} & \text{para } v_{ci} \leq v(t) \leq v_r \\ P_r v_r & \text{para } v_r \leq v(t) \leq v_{co} \\ 0 & \text{para } v_{co} \leq v(t) \end{cases} \quad (4)$$

Donde P_r es la potencia nominal del aerogenerador, $v(t)$ es la velocidad del viento, v_{ci} y v_{co} son las velocidades de inicio y de corte del aerogenerador respectivamente y v_r es la velocidad nominal del aerogenerador. De manera análoga, para obtener la potencia total producida para un número N de aerogeneradores tenemos (Belboul et. al. 2022):

$$P_{wtT} = N_{wt} P_{wt}(t) \quad (5)$$

Por su parte, la energía entregada a la batería cuando la potencia generada por las fuentes renovables es superior a la carga demanda, viene dada por la ecuación:

$$E_{SB}(t+1) = E_{SB}(t)(1 - \beta) + [P_{PV}(t) + P_{wt}(t) - L_d / \eta_i] \eta_B \quad (6)$$

donde E_{SB} representa la energía almacenada en la batería, β es la razón de autodescarga, η_i la eficiencia del inversor, L_d la carga demanda y η_B la eficiencia de carga y descarga de las baterías. Por su parte, cuando la potencia generada por las fuentes renovables es menor a la demanda de consumo, el banco de baterías es descargado y se puede modelar mediante la siguiente ecuación:

$$E_{SB}(t+1) = E_{SB}(t)(1 - \beta) - [L_d / \eta_i - (P_{PV}(t) + P_{wt}(t))] \eta_B \quad (7)$$

2.3 Optimización del sistema híbrido

Para obtener el dimensionamiento óptimo del sistema, se requiere minimizar la función objetivo, la cual en este caso es el costo total anualizado (A_c). La ecuación viene dada por (Al-Ghussain y Taylan, 2021):

$$A_c(N_{PV}, N_{wt}, N_{batt}) = CRF * NPC \quad (8)$$

donde NPC representa el costo presente neto, el cual es la suma de los costos de capital C_{cap} , los costos de operación y mantenimiento $C_{O\&M}$, y el costo referido al reemplazo de equipos dentro del periodo de vida útil del sistema (baterías y electrónica de potencia) C_{rep} y CRF es el factor de recuperación de capital definido como:

$$CRF = \frac{i(i+1)^n}{(i+1)^n - 1} \quad (9)$$

donde i es la tasa de interés anual y n el tiempo de vida útil del sistema.

Por otro lado, a partir del cálculo de A_c , se puede obtener el costo de la energía (COE) en \$/kWh de la siguiente manera:

$$COE = A_c \left(\sum_{j=1}^{8760} L_j \right)^{-1} \quad (11)$$

donde L_j es la demanda de consumo. En resumen, el problema de optimización radica en encontrar la combinación ideal de tecnologías que minimice el costo anualizado A_c .

$$\min f = \min A_c(N_{PV}, N_{wt}, N_{batt}) \quad (12)$$

Sujeto a las siguientes restricciones:

$$0 \leq N_{PV}, N_{wt}, N_{batt} \leq 100$$

$$20\% \text{Máx} \leq E_{SB} \leq 100\% \text{ y } LPSP \leq 10\%$$

2. METODOLOGÍA

2.1 Obtención y procesamiento de datos meteorológicos

Se obtuvieron datos meteorológicos de la base de datos nacional de radiación solar (NSRDB por sus siglas en inglés) del Laboratorio Nacional de Energía Renovable (NREL). Se obtuvieron datos de distintas variables como la temperatura, velocidad del viento e irradiancia global horizontal. Los datos corresponden al año 2021 con un horizonte de tiempo de una hora y precisión de 4 km a la redonda. Se consideraron dos ubicaciones en el estudio: Petatlán, Guerrero (17° 32' 12" N, 101° 16' 1" O) y Álamos, Sonora (27° 1' 39" N, 108° 56' 24" O), las cuales representan en conjunto el 11% del déficit nacional.

En las figuras 3 y 4 se muestran los perfiles de irradiancia y velocidad del viento promedio mensuales para cada comunidad.

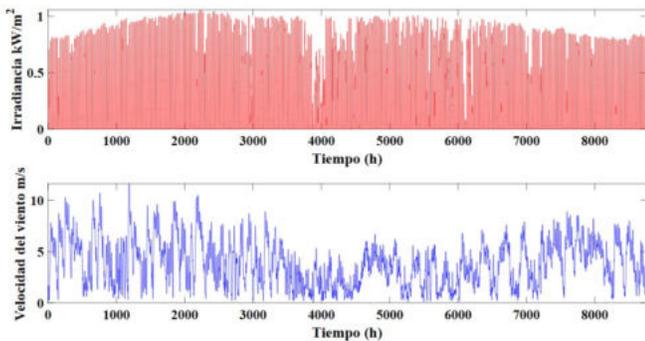


Fig 3. Perfiles anuales de irradiancia solar y velocidad del viento en Álamos, Son.

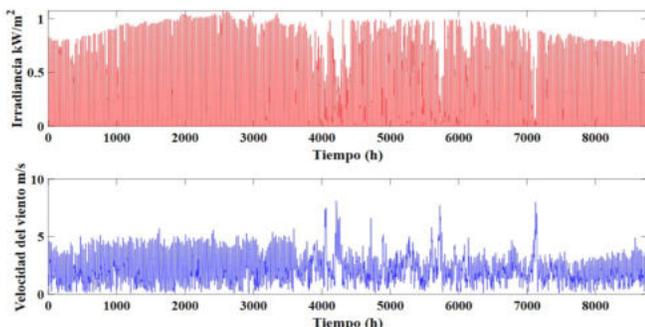


Fig 4. Perfiles anuales de irradiancia solar y velocidad del viento en Petatlán, Gro.

2.2 Características de las tecnologías implementadas

Las características y parámetros de costos considerados para la optimización y el modelado se muestran a continuación:

Tabla 2. Parámetros del sistema híbrido

| Parámetro | Valor |
|---------------------------------------|--------------|
| Potencia nominal turbina eólica | 0.50 kW |
| Velocidad de entrada | 1.00 m/s |
| Velocidad de corte | 25.00 m/s |
| Costo capital unitario turbina eólica | \$14,500.00 |
| Costo O&M turbina eólica | \$2,000.00 |
| Potencia nominal módulo PV | 0.33 kW |
| Costo capital unitario módulo PV | \$3,800.00 |
| Costo O&M módulo PV | \$500.00 |
| Potencia nominal batería | 1.35 kW |
| Eficiencia batería | 85% |
| Costo capital unitario batería | \$1,500.00 |
| Costo O&M baterías | \$200.00 |
| Costo unitario inversor | \$18,000.00 |
| Potencia nominal inversor | 3 kW |
| Eficiencia del inversor | 95% |
| Costo unitario regulador de carga | \$2,500.00 |
| Tasa de interés anual | 5% |
| Tiempo de vida útil del sistema | 20 años |
| Tiempo de reemplazo de baterías | Cada 5 años |
| Tiempo de reemplazo de inversor | Cada 10 años |

2.3 Proceso de optimización

Se obtiene el dimensionamiento óptimo del sistema para las dos comunidades, mediante optimización por algoritmo genético (GA) y enjambre de partículas (PSO). Estos algoritmos han sido ampliamente utilizados en optimización de sistemas energéticos y presentan la ventaja de encontrar mínimos y máximos globales en contraste con técnicas clásicas como programación lineal (LP) y programación lineal mixto-entero (MILP), las cuales por lo general, encuentran mínimos locales en una función (Abualigah et. al, 2022).

Se considera como función objetivo a optimizar el costo anualizado total y con ello calcular el costo de la energía. Aunado a lo anterior, el algoritmo evalúa la probabilidad de pérdida de suministro de potencia (LPSP), en cada paso de tiempo para obtener un valor menor a 0.1 (menos del 10% de probabilidad de pérdida de potencia). Se obtiene el dimensionamiento óptimo de las tecnologías y los componentes correspondientes al sistema de electrónica de potencia. En las tablas 3 y 4 se muestran los pasos realizados por los algoritmos en la optimización y sus correspondientes parámetros de sintonización respectivamente.

Tabla 3. Proceso de optimización mediante GA y PSO.

| Algoritmo | |
|-----------|-----|
| GA | PSO |

| | |
|---|---|
| 1. Generación de población aleatoria de cromosomas 2. Evaluación de aptitud 3. Selección 4. Cruzamiento 5. Mutación 6. Terminación | 1. Creación de enjambre 2. Evaluación de función objetivo 3. Actualización de posición y velocidad de las partículas 4. Volver al paso 2 hasta encontrar mínimo. 5. Terminación |
|---|---|

Tabla 4. Parámetros de sintonización de los algoritmos.

| Algoritmo de optimización | |
|---------------------------|-----------------------|
| GA | PSO |
| No. de población=20 | No. de partículas=20 |
| No. de iteraciones=50 | No. de iteraciones=50 |
| Pc=0.85 | C1=2, C2=2 |
| Pm=0.01 | wMáx=0.9 |
| Er=0.05 | wMin=0.2 |

3. RESULTADOS

En la tabla 4, se muestran los resultados obtenidos de dimensionamiento para ambas comunidades.

Tabla 4. Resultados obtenidos para las diferentes configuraciones PV-WT-BATT.

| Petatlán, Gro. | | Álamos, Son. | |
|------------------|------------------|------------------|------------------|
| GA | PSO | GA | PSO |
| $N_{pv}=46$ | $N_{pv}=46$ | $N_{pv}=34$ | $N_{pv}=30$ |
| $N_{wt}=1$ | $N_{wt}=1$ | $N_{wt}=3$ | $N_{wt}=3$ |
| $N_{batt}=36$ | $N_{batt}=36$ | $N_{batt}=32$ | $N_{batt}=40$ |
| $N_{inv}=4$ | $N_{inv}=4$ | $N_{inv}=3$ | $N_{inv}=3$ |
| $N_{reg}=1$ | $N_{reg}=1$ | $N_{reg}=1$ | $N_{reg}=1$ |
| $A_c=\$99531$ | $A_c=\$99531$ | $A_c=\$89008$ | $A_c=\$90069$ |
| $LPSP=0.001$ | $LPSP=0.001$ | $LPSP=0.001$ | $LPSP=0.001$ |
| $COE=4.22\$/kWh$ | $COE=4.22\$/kWh$ | $COE=3.77\$/kWh$ | $COE=3.82\$/kWh$ |

Como se observa de la tabla anterior, el dimensionamiento obtenido por ambos algoritmos es idéntico para el caso de Petatlán, mientras que para Álamos el dimensionamiento obtenido por GA resulta mejor, sin embargo la diferencia entre uno y otro en el COE es de apenas 5 centavos. Por su parte, se observa que las configuraciones encontradas por los algoritmos cumplen el requisito de la probabilidad de pérdida de potencia menor al 10%. Se obtienen dimensionamientos con potencias instaladas de 64.3 kW y 55.7 kW para Petatlán y Álamos respectivamente con costos de instalación de \$243,300 y \$220,700.

En las figuras 5 y 6 se muestra el despacho técnico económico en la micro red obtenido con el dimensionamiento de la tabla 4, así como la potencia generada por la misma, observando que se satisface en todo momento la demanda de consumo. Comparando los resultados obtenidos por la propuesta observamos que el costo anualizado de la micro red es mayor al reportado en las estrategias promovidas en (INECC, 2021), el cual es de \$46,079.46 para microrredes aisladas solar-baterías. Sin embargo, al analizar el punto de equilibrio de la extensión de la red (Ayodele et. al. 2021), el cual señala la distancia (en km) desde la comunidad hasta la

red más cercana. En este punto, se tiene que el costo anualizado del sistema propuesto y el de extensión de la red se igualan. Esto implica que si la red está más lejos que esta distancia la micro red es mejor opción y viceversa. El punto de equilibrio se puede expresar de la siguiente manera:

$$D_g = \frac{A_c CRF - COE_{ext} L_d}{C_{ext} CRF + C_{OM ext}} \quad (13)$$

Si consideramos tarifa 1 (base) que por lo general es la que se paga en zonas rurales y tomamos en promedio un costo de 1.20 \$/kWh, un costo de extensión de la red $C_{ext}=\$322,600$ y un costo de operación y mantenimiento anual de la red de \$3245/año (INECC, 2021), se obtiene que la distancia del punto de equilibrio para ambas comunidades es de 2.1 km para Álamos y 2.4 km para Petatlán.

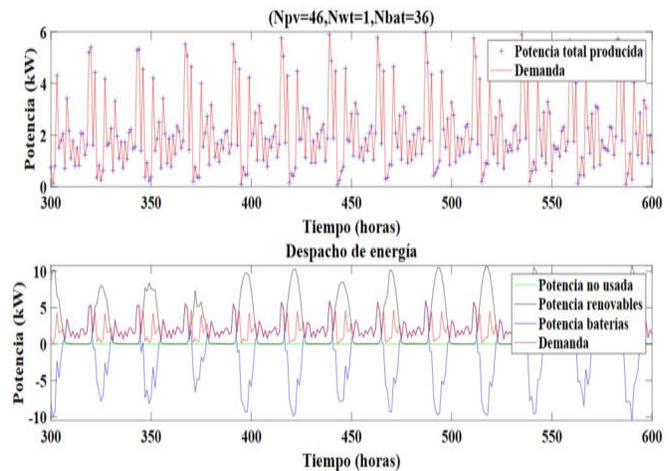


Fig. 5. Despacho de energía en la micro red para la comunidad de Petatlán, Gro.

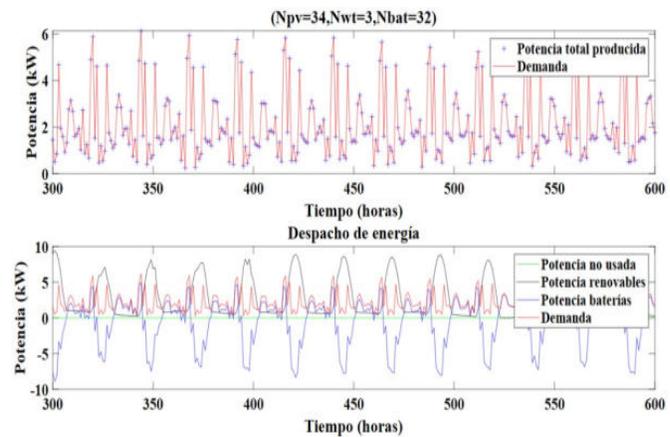


Fig. 6. Despacho de energía para la comunidad de Álamos, Son.

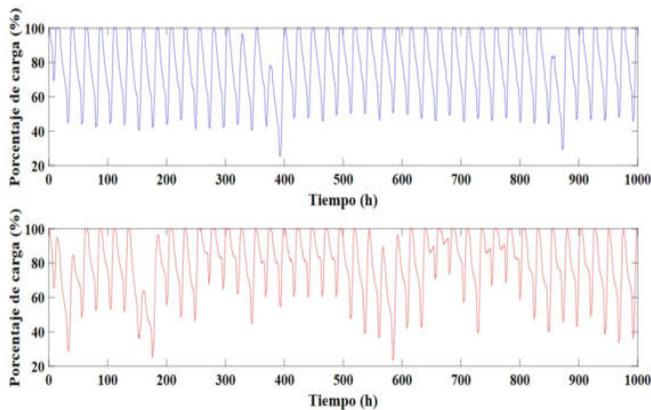


Fig. 7. Estado de carga del banco de baterías para ambas comunidades (superior Álamos, inferior Petatlán).

Se sabe que para que la extensión de la red de distribución a una distancia de entre 1 y 3 km sea viable tiene que haber más de 7 viviendas por electrificar. En nuestro análisis estamos considerando 5 viviendas más un sistema de riego para agricultura, por lo que se dictamina que la implementación de la extensión de la red no es viable, por lo que el uso de micro redes de energía renovable resulta una buena opción para reducción del déficit nacional.

4. CONCLUSIONES

Se logró obtener el dimensionamiento óptimo de un sistema híbrido solar-eólico con almacenamiento en baterías para dos comunidades con déficit de electrificación en México, como lo son Álamos, Son. y Petatlán, Gro, utilizando dos algoritmos metaheurísticos (GA y PSO). El sistema propuesto garantiza gran fiabilidad, ya que se encontraron LPSP menores al 1% a lo largo del año, además de que en contraste con la extensión de la red de distribución, éste resulta una mejor opción. Como trabajo a futuro, se proyecta la implementación de predicción de generación de energía mediante redes neuronales, así como un control supervisor en tiempo real, además del análisis de más comunidades.

6. REFERENCIAS

Comisión Federal de Electricidad (2021). Informe anual. Informe Anual 2021.pdf (cfe.mx).

INECC (2021). Electrificación rural para comunidades fuera de la red utilizando generación de energía renovable con sistemas híbridos INFORME_Electrificación_integrado.pdf

Belboul Z., Toual B., Kouzou A., Mokrani L., Bensalem A., Kennel R. y Albrahem M. (2022). Multiobjective Optimization of a Hybrid PV/Wind/Battery/Diesel Generator System Integrated in Microgrid: A Case Study in Djelfa, Algeria, *Energies*, 15, 3579.

SENER (2022). Relación de Localidades del Componente de Instalación de Sistemas Aislados de Electrificación 2021-2022.

URL

:SENER_07_ReglasOperacionFondoServicioUniversalElectrico.pdf.

Wesley J., Brasil A., Frate C. y Badibanga R. (2020). Techno-economic analysis of a PV-wind-battery for a remote community in Haiti. *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*, 2, 100044.

Fosso G., Kapen P. y Djanna F. (2023). Techno-economic investigation of an environmentally friendly small-scale solar tracker-based PV/wind/battery hybrid system for off-grid rural electrification in the mount bamboutos, Cameroon. *Energy Strategy Reviews* 48 101107.

Samy M., Barakat S. y Ramadan H. (2020) Techno-economic analysis for rustic electrification in Egypt using multi-source renewable energy based on PV/wind/FC. *International Journal of Hydrogen Energy*, 45, 11471-11483.

Nsafon B., Babatunde A., Mark H., Roh J., Suh D., Huh J. (2020). Optimization and sustainability analysis of PV/wind/diesel hybrid energy system for decentralized energy generation. *Energy Strategy Reviews*, 32, 100570.

Ayodele T., Mosetlhe T., Yusuff A. y Ogunjuyigbe A. (2021). Off-grid hybrid renewable energy system with hydrogen storage for South African rural community health clinic. *International Journal of Hydrogen Energy*, 46, 19871-19885.

L. Abualigah et. al. (2022) Wind, Solar, and Photovoltaic Renewable Energy Systems with and without Energy Storage Optimization: A Survey of Advanced Machine Learning and Deep Learning Techniques, *Energies*.

Gómez-González F. (2018). Algoritmo para la optimización de Sistemas Híbridos Renovables, *Revista de Tecnología e Innovación*.