

# Energy management strategy in a grid-connected microgrid accomplishing an energy balance

Ma. del Carmen Toledo Pérez \* Rodolfo A. Vargas Méndez \*  
Abraham Claudio Sánchez \* Juan A. González Flores \*  
Luis G. Pérez Juárez \* Adan Bravo Torres \*

\* *Tecnológico Nacional de México/CENIDET, Interior Internado  
Palmira S/N, Col. Palmira, Cuernavaca, Mor. México.  
e-mail: d19ce046@cenidet.edu.mx*

Resumen: Distributed generation has emerged as an alternative for energy production, which can combine clean and renewable energies with energies produced based on fossil resources. The microgrids allow to interconnect different type of resources, generation and storage systems, which imply to harmonize their characteristics to reach a good performance as a whole. The complexity to coordinate, synchronize and optimize the better operation conditions of the microgrids, require an energy management system (EMS) that decides the dispatch of energy, which meets the objective function, in addition to satisfying the marked restrictions and maintaining a balance between generation and consumption. In this work, an energy management system is proposed for a grid-connected microgrid that decides the dispatch and interaction of the equipment together, the energy dispatch suggested by the EMS gives the lowest operating prices and also satisfies the energy balance between generation and demand.

*Keywords:* Distributed Generation, Microgrids, Energy Management, DERs, Target Function, Energy Balance.

## 1. INTRODUCCIÓN

Comúnmente la energía eléctrica en México se obtiene mediante grandes plantas de generación, las cuales se encuentran instaladas en puntos alejados del usuario. Para la generación de energía eléctrica se utilizan recursos fósiles derivados del petróleo, los cuales son no renovables y provocan alta contaminación, por otra parte, existen las energías limpias, siendo la energía solar, eólica, geotérmica e hidráulica las más comunes [Aguilar-Jiménez et al. 2018].

Las energías limpias surgen como una solución a los problemas de la generación centralizada como son: el costo de grandes infraestructuras, pérdidas de transmisión y distribución de energía, entre otros, solucionando afectaciones de confiabilidad y estabilidad, lo cual impacta en la cobertura de los sistemas eléctricos actuales, alcanzando altos niveles de eficiencia que justifican a la generación distribuida (GD) postulándola como una gran opción [Akbari et al. 2016].

Diferentes autores definen a la generación distribuida como Recursos Energéticos Distribuidos (DERs), los cuales pueden incluir diversas fuentes generadoras, sistemas de respaldo y de almacenamiento de energía (ESS) por sus siglas en inglés *Energy Storage System*, pueden incluirse

fuentes renovables y fuentes no renovables [Akter et al. 2020].

Gracias a la generación distribuida se propicia la inclusión de las microrredes, estas son redes locales que interconectan a los DERs para satisfacer la demanda de las cargas, estas pueden funcionar en diferentes escenarios, conectadas a la red eléctrica o de manera autónoma.

Las conectadas a la red tienen la ventaja de recibir una referencia de voltaje y frecuencia proporcionada por la red eléctrica. En cambio, cuando se trata de una microrred aislada no se tienen estas referencias debido a que no hay conexión con la red y comúnmente se tiene un generador de respaldo, el cual se encarga junto con los sistemas de almacenamiento de establecer el balance de energía entre la generación y la demanda [Benlahbib et al. 2020].

Sin embargo, para que estos sistemas funcionen en conjunto de manera adecuada, es necesario implementar un sistema de administración de energía (EMS) por sus siglas en inglés *Energy Management System*, que sea capaz de cumplir con los objetivos trazados (económicos, eléctricos, eficiencia, entre otros) y que además decida el despacho de energía hacia las cargas [Çimen et al. 2022].

## 2. CASO DE ESTUDIO

En este trabajo se propone una configuración de microrred conectada a la red eléctrica, la cual, tiene la capacidad de satisfacer las necesidades de una aplicación residencial. Se conforma por un sistema fotovoltaico (PV) como generador principal, un sistema eólico (WT) y un sistema de almacenamiento de energía basado en baterías (BESS).

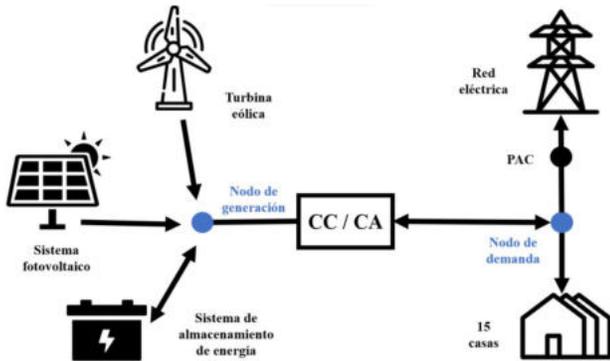


Figura 1. Microrred caso de estudio.

La microrred propuesta en la Fig. 1 tiene la capacidad de abastecer la demanda de las cargas a través de la generación por medio del PV y del WT. El sistema de almacenamiento se utiliza en las horas en donde la generación no es suficiente, debido a que las condiciones climatológicas no son favorables para aprovechar al máximo el PV y WT.

El consumo máximo por día en cada vivienda es de 5.215 kW contemplando en cada una de ellas las potencias de consumo de manera general para electrodomésticos básicos.

En la Tabla 1 se muestra el tipo de equipo, la cantidad y el consumo de potencia de cada uno de ellos, contemplando adicionalmente la potencia consumida por el alumbrado público.

Tabla 1. Consumo por vivienda.

Electrodoméstico	Potencia Unitaria (kW)	Unidades	Potencia Instalada (kW)
<b>Iluminación</b>	0.015	8	0.120
<b>Refrigerador</b>	0.250	1	0.250
<b>Ventilador</b>	0.125	1	0.125
<b>Lavadora</b>	0.400	1	0.400
<b>Microondas</b>	1.200	1	1.200
<b>Aire acondicionado</b>	1.000	1	1.000
<b>Televisión</b>	0.360	2	0.720
<b>Plancha</b>	1.000	1	1.000
<b>Licuada</b>	0.400	1	0.400
<b>Consumo por vivienda</b>	5.215 kW * 15 = 78.225 kW		
<b>Alumbrado público</b>	0.080	10	0.800
<b>Consumo total</b>	79.025 kW		

En la Fig. 2 se observa el perfil de consumo de potencia que demandan las cargas en conjunto para esta microrred, en donde se aprecian los picos de demanda entre las 18:00 y las 21:00 hrs.

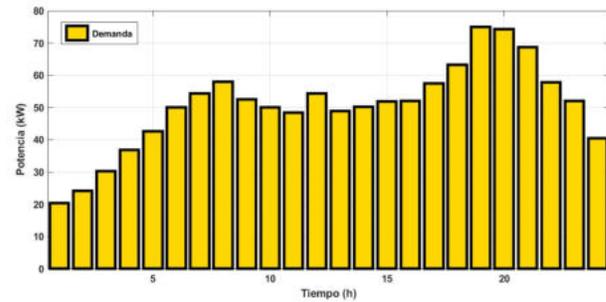


Figura 2. Perfil de consumo por vivienda.

En la Tabla 2 se observan los sistemas conectados en la microrred eléctrica propuesta y sus capacidades, estos están determinados de acuerdo a modelos comerciales existentes obteniendo valores reportados en la literatura. La capacidad de la batería está diseñada para abastecer toda la demanda de las cargas durante un período de dos horas.

Tabla 2. Capacidades de los sistemas.

Cantidad	Tipo de sistema	Capacidades
1	Paneles fotovoltaicos	60.45 kW
1	Turbina eólica	25 kW
1	Sistema de almacenamiento	100 kW
15 viviendas	Cargas residenciales	79.025 kW

Para que una microrred pueda operar de manera correcta y eficiente, es necesario contar con un sistema de administración de energía (EMS) que asegure una operación fiable cuando se presente inestabilidad en la microrred [Çimen et al. 2022]. El EMS es el encargado de la toma de decisiones respecto a la cantidad de energía despachada a las cargas a lo largo del tiempo y cuando entre en funcionamiento cada sistema de generación, almacenamiento y la red eléctrica, esto con el objetivo de reducir el costo total y procurando el balance de energía entre el usuario y la generación [Dey et al. 2020].

El sistema de administración de energía está ligado a cumplir la función objetivo. Para este caso de estudio es la minimización de costos operativos en la microrred. De esta forma, el EMS fue planteado como un problema de optimización.

En la Fig. 3 se muestra la estructura general del sistema de administración de energía. En la entrada se observan los datos conocidos los cuales son obtenidos a través de pronósticos ambientales, costos de operación y capacidades de los diferentes sistemas interconectados. Las entradas pronosticadas son tomadas en intervalos de 24 horas, tanto para el sistema PV y WT.

El EMS captura los datos introducidos y realiza un proceso interno en donde plantea el escenario que se tiene como un problema de optimización, en esta parte se deberá cumplir con la función objetivo que está sujeta a una serie de restricciones.

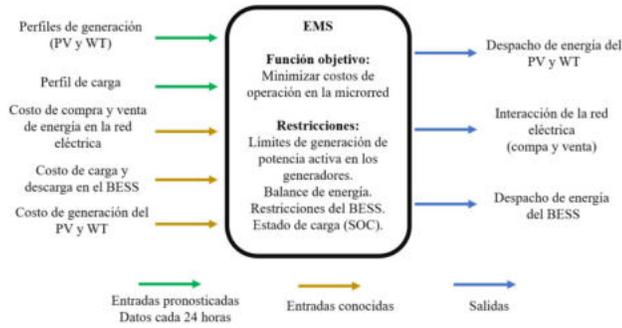


Figura 3. Esquema general del EMS.

La salida del EMS determinará la cantidad de potencia que deben suministrar los generadores, el BESS y la red eléctrica en determinados momentos. Las potencias propuestas otorgan el menor costo posible y satisfacen las restricciones. El sistema de administración de energía propondrá la puesta en marcha de la red eléctrica para la compra y venta de energía, así como la carga y descarga del sistema de almacenamiento.

### 2.1 Planteamiento de la función objetivo

La función objetivo para este trabajo se propone con el fin de minimizar costos de operación de la microrred, en ella fueron incluidos los costos de generación del arreglo de paneles fotovoltaicos y de la turbina eólica. También se incluyeron los costos ligados al sistema de almacenamiento de energía y de la compra-venta de energía desde la red eléctrica.

El costo de operación de la microrred se determinó con base en la cantidad de potencia generada de cada sistema y del precio que conlleva su generación.

En la ecuación (1) se muestra la función objetivo:

$$\min F(x) = F_{PV}(P_{PV}) + F_{WT}(P_{WT}) + F_{BAT}(P_{BAT}) + F_{GRID}(P_{GRID}) \quad (1)$$

dónde

$$x = P_{PV}, P_{WT}, P_{BAT}, P_{GRID}$$

Los costos de generación del arreglo de paneles fotovoltaicos PV se determinó mediante la ecuación (2) en donde  $i$  hace referencia a la  $i$ -ésima fuente de generación fotovoltaica.  $N_{PV}$  se refiere al número de generadores fotovoltaicos conectados en la microrred. Por otro lado, para calcular el costo de operación del panel fotovoltaico se obtiene del producto de la potencia del arreglo de paneles fotovoltaicos propuesta por el sistema  $P_{PV_i}$  a lo largo de las 24 horas por el costo de generación  $C_{PV}$ , cabe mencionar que este costo se mantiene constante durante las 24 horas.

$$F_{PV}(X_{PV}) = \sum_{T=1}^{24} \sum_{i=1}^{N_{PV}} [P_{PV_i}(t) * C_{PV}] \quad (2)$$

dónde

$$X_{PV} = [P_{PV}(1)...P_{PV}(24)]$$

Para determinar los costos de operación de la turbina eólica WT se utilizó la ecuación (3), en donde  $i$  hace referencia a la  $i$ -ésima fuente de generación eólica.  $N_{WT}$  se refiere al número de generadores eólicos que se utilizan en la topología. Para calcular el costo de generación de la turbina eólica se obtiene el producto de la potencia del generador eólico propuesta por el sistema  $P_{WT_i}$  a lo largo de las 24 horas por el costo de generación  $C_{WT}$ , cabe mencionar que este costo se mantiene constante durante las 24 horas

$$F_{WT}(X_{WT}) = \sum_{T=1}^{24} \sum_{i=1}^{N_{WT}} [P_{WT_i}(t) * C_{WT}] \quad (3)$$

dónde

$$X_{WT} = [P_{WT}(1)...P_{WT}(24)]$$

Para determinar el costo del sistema de almacenamiento de energía es más complejo, debido a que se toman en cuenta dos costos diferentes, uno para la carga de la batería  $C_{BAT_{CAR}}$  y otro para descarga del de la batería  $C_{BAT_{DES}}$ . La potencia propuesta de la batería está denotada por  $P_{BAT_i}$ ,  $C_{BAT}$  hace referencia al costo acumulado por el uso de las baterías.

Un elemento clave en la ecuación (4) es el uso de la variable  $m$  que toma valores de 0 y 1, esto dependerá si es carga o descarga del sistema de administración de energía. De esta forma, solo se tomará en cuenta una de ellas a la hora de realizar el cálculo.

$$F_{BAT}(X_{BAT}) = \sum_{T=1}^{24} \sum_{i=1}^{N_{BAT}} [C_{BAT}(T-1) + (m * P_{BAT_i}(t) * C_{BAT_{DES}}) - ((1-m) * P_{BAT_i}(t) * C_{BAT_{CAR}})] \quad (4)$$

Para calcular el costo por compra - venta de energía de la red eléctrica, se realizó un planteamiento similar al de la batería, debido a que se deben de considerar dos costos, uno para la compra de energía  $C_{REDCOM}$  y otro más para la venta de energía  $C_{REDVEN}$ . El EMS se encargará de definir los momentos en que estas acciones se realicen, tomando en cuenta el comportamiento de los otros sistemas involucrados.

De la misma forma que para la batería, se consideró una variable de decisión que contemple valores de 0 o 1 para que se tome en cuenta solo uno de ellos, esto dependerá de la cantidad de energía que se consuma de la red o de la venta de energía hacia la misma. El costo de la red se puede apreciar en la ecuación(5).

$$F_{GRID}(X_{GRID}) = \sum_{T=1}^{24} [(m * P_{GRID_i}(t) * C_{REDVEN}) - ((1 - m) * P_{GRID}(t) * C_{REDCOM})] \quad (5)$$

## 2.2 Planteamiento de la restricciones

Desde el inicio, la función objetivo estuvo ligada a una serie de restricciones que se deben cumplir para que se considere costeable y se pudieran cumplir las metas de minimización de costos. Las restricciones son mostradas en las siguientes ecuaciones.

*Límites máximos y mínimos de generación de potencia activa de los sistemas de generación*

$$P_{PV}^{min}(t) \leq P_{PV}(t) \leq P_{PV}^{max}(t) \quad (6)$$

$$P_{WT}^{min}(t) \leq P_{WT}(t) \leq P_{WT}^{max}(t) \quad (7)$$

*Límites máximos y mínimos de generación de potencia activa del sistema de almacenamiento de energía*

$$P_{BAT}^{min}(t) \leq P_{BAT}(t) \leq P_{BAT}^{max}(t) \quad (8)$$

El balance de energía entre la generación y la demanda es mostrado en la ecuación (9), teniendo como objetivo no generar más energía de la que se necesita y generar la energía requerida para satisfacer la demanda de las cargas, se puede hacer uso de las fuentes generadoras, de los sistemas de almacenamiento de energía o de la misma red eléctrica en ambos casos.

$$Consumo = (P_{GRID} + P_{PV} + P_{WT} + P_{BAT}) \quad (9)$$

Se empleó la ecuación (10) para seguir el estado de carga del sistema de almacenamiento de energía basado en baterías, en donde  $SOC_{(t-1)}$  esté ligado al estado de carga en un intervalo de tiempo antes.  $\Delta t$  es el intervalo de tiempo que se empleó específicamente para este trabajo, y la capacidad máxima de las baterías está denotada por  $E_{BAT_{max}}$ . También se tiene  $P_{BAT}$  que es definida por el EMS y que se refiere a la potencia de baterías propuesta.

$$SOC_{(t)} = (SOC_{(t-1)} - \frac{\Delta t}{E_{BAT_{max}}} * P_{BAT}(t - 1)) \quad (10)$$

*Límites máximos y mínimos del estado de carga (SOC)*

$$SOC_{min} \leq SOC(t) \leq SOC_{max} \quad (11)$$

En la Tabla 3 se muestran los precios de generación para el PV y WT definidos para este caso de estudio. Los precios de generación pueden ser distintos dependiendo la región en la que se emplee.

Tabla 3. Costo de los generadores.

Cantidad	Sistema	Costo (\$/kWh)
1	Panel fotovoltaico	0.59
1	Turbina eólica	0.70

Los costos de generación y parámetros del sistema de almacenamiento se muestran en la Tabla 4. La diferencia en el tratamiento de la batería es que aquí se definen dos precios, uno para carga y otro para descarga.

Tabla 4. Características del BESS.

Sistema de almacenamiento	Cantidad
Potencia máxima de carga (kW)	100
Costo por carga (\$/kWh)	0.25
Costo por descarga (\$/kWh)	0.40
Estado de carga mínimo (%)	25%
Estado de carga máximo (%)	100%

Respecto a la red eléctrica, los costos de compra – venta de energía dependen de la zona geográfica en la que se encuentre ubicada la microrred. Aunado a esto, los precios varían dependiendo la hora del día. Para este trabajo se emplearon los costos mostrados en la Tabla 5.

Tabla 5. Costo de compra y venta de energía.

Red eléctrica	Costo (\$/kWh)
Compra de energía	0.80
Venta de energía	1.04

## 2.3 Algoritmo de optimización basado en PSO

En este trabajo se resolvió el problema de optimización empleando el método de optimización por enjambre de partículas (PSO) por sus siglas en ingles. Se seleccionó el método de PSO debido a que puede explorar el espacio de solución hacia diferentes direcciones al mismo tiempo, de esta forma, el espacio de solución se aprovecha de mejor manera. En la Tabla 6 se muestran los parámetros empleados para este trabajo.

Tabla 6. Parámetros del PSO.

Parámetro	Valor
Número de partículas	NP=24
Número de variables	NV=96
Constante de aceleración mínima	$C_{min} = 2$
Constante de aceleración máxima	$C_{max} = 2$
Factor de inercia mínimo	$V_{min} = 0,4$
Factor de inercia máximo	$V_{max} = 0,8$
Intervalos de tiempo	$\Delta t = 60Min$
Número de iteraciones	$I_{ter} = 200$

Dentro del proceso interno del algoritmo PSO, se realiza una búsqueda en el amplio espacio de posibles soluciones, con el paso de las iteraciones, las partículas se desplazan libremente por el espacio de solución y van actualizando su velocidad (Ecuación 12), consecuentemente se actualiza la posición de la misma partícula (Ecuación 13).

$$VI^{i+1} = W * VI^i + C_1 + R_1 * (P_{best} - PI^i) + C_2 * R_2 * (G_{best} - PI^i) \quad (12)$$

$$PI^{i+1} = PI^i + VI^{i+1} \quad (13)$$

Los datos de posición y velocidad de las partículas cambiarán con el paso de las iteraciones, además estos datos se irán guardando dentro del algoritmo y se realizará una selección del mejor resultado posible de cada iteración ( $P_{best}$ ) y el mejor global ( $G_{best}$ ) de todas las iteraciones. Al final del proceso se obtendrá una mejor convergencia y por ende se tendrá el mejor resultado posible, el proceso interno del algoritmo PSO se puede ver la Fig. 4 con mayor detalle.

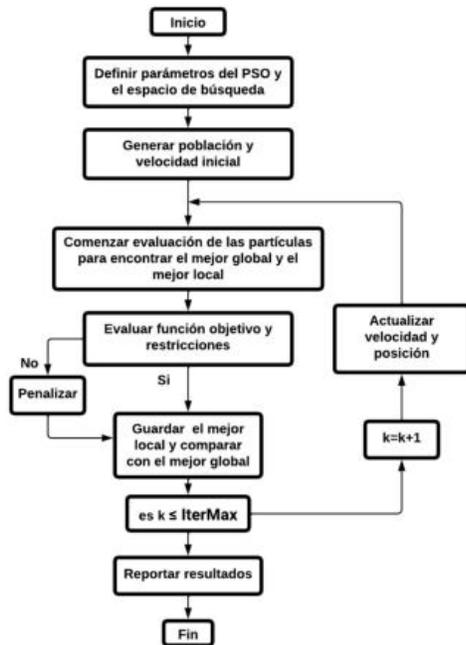


Figura 4. Algoritmo del PSO.

El principio de funcionamiento del algoritmo PSO comienza por definir los parámetros ( $NP$ ,  $NV$ ,  $W_{min}$ ,  $W_{max}$ ,  $C_{min}$  y  $C_{max}$ ), posteriormente se debe acotar el espacio de búsqueda para las variables, en este caso fueron  $P_{PV}$ ,  $P_{WT}$ ,  $P_{GRID}$ ,  $P_{BAT}$ . Una vez definidos estos parámetros, se crea una población inicial con una posición y una velocidad. Después comienza el proceso, se comienzan a desarrollar las iteraciones, al término de cada iteración las partículas actualizan su velocidad y por consecuencia su posición. El resultado obtenido es guardado como el mejor local ( $P_{best}$ ) y es comparado con el mejor resultado global de todo el proceso ( $G_{best}$ ). Al término de la comparación, el mejor resultado toma el lugar del mejor global y continúa el proceso interno hasta terminar con el número de iteraciones. Finalmente, el algoritmo tomará en cuenta a los mejores resultados y reportará la cantidad

de potencia que debe de suministrar cada sistema  $P_{PV}$ ,  $P_{WT}$ ,  $P_{BAT}$  y la red eléctrica  $P_{GRID}$ .

### 3. RESULTADOS

Al término del proceso de optimización, el sistema de administración de energía decidió el despacho del panel fotovoltaico para las próximas 24 horas, en la Fig. 5 se observa que la potencia que el EMS propuso se encuentra dentro de los límites reales que el sistema fotovoltaico puede generar. Es decir, las potencias propuestas son viables y el sistema fotovoltaico es capaz de suministrar la potencia marcada durante todo el día. Las primeras 6 horas del día y las últimas 6 horas del día, son los intervalos de tiempo en los que el sistema fotovoltaico no genera energía debido a la ausencia del sol.

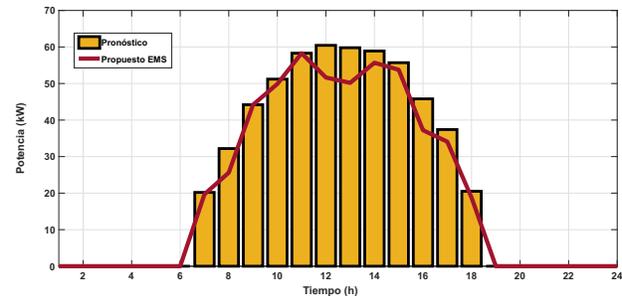


Figura 5. Despacho de energía propuesto por el EMS para el PV.

La Fig. 6 muestra el despacho de energía de la turbina eólica que el EMS propuso para el día, este despacho de energía supone el menor costo de operación en la microrred. El despacho del WT es posible debido a que se encuentra dentro de los límites de generación de la WT.

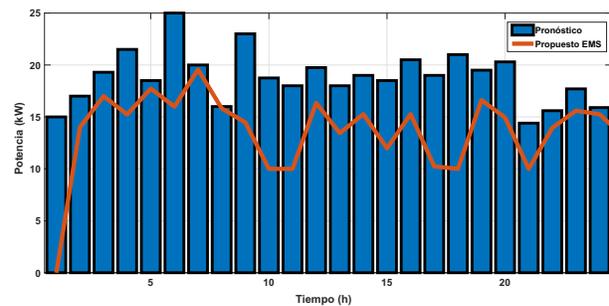


Figura 6. Despacho de energía propuesto por el EMS para el WT.

La batería es uno de los sistemas más interesantes de la microrred, esto debido a que su estado de carga depende de las necesidades del usuario y de la potencia que puedan suministrar los generadores, la Fig. 6 muestra la cantidad de potencia que se encuentra almacenada en la batería a lo largo del día, durante la curva de la gráfica se observan las horas en la que la batería se carga o se descarga.

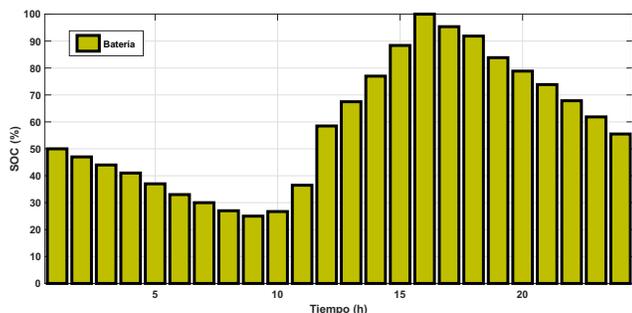


Figura 7. Estado de carga de la batería.

La red eléctrica es la opción más viable para satisfacer la demanda de la microrred, ya que está disponible las 24 horas del día. Los resultados arrojados por el EMS para las próximas 24 horas se muestran en la Fig. 8, en esta gráfica se pueden observar los momentos de compra y venta de energía. Debido al pico de demanda que ocurre entre las 18:00 y 21:00 horas del día, se muestra que es el intervalo de tiempo en el cual se realiza la mayor compra de energía desde la red eléctrica de suministro.

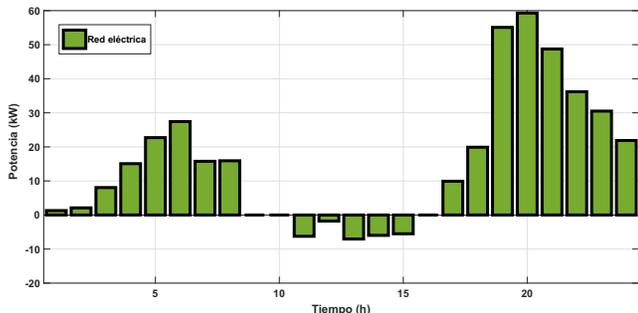


Figura 8. Interacción de la red eléctrica.

Uno de los objetivos principales es el balance de energía entre la generación y la demanda, es decir, que los sistemas de generación no generen mayor cantidad de energía de la que se necesita para suplir la demanda y si falta energía utilizar los ESS y la red eléctrica, en la Fig. 9 se muestra el balance energético obtenido en este trabajo.

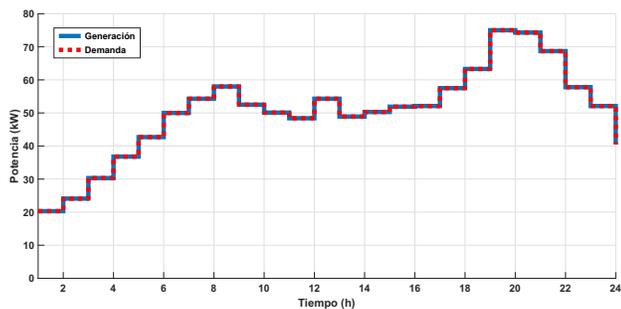


Figura 9. Balance energético.

En la Fig. 10 se muestra la gráfica de la minimización de costos de la microrred operando con el sistema de administración de energía, para este día en específico se observa que el costo de operación reduce aproximadamente en la iteración 42, para el algoritmo no fue necesario utilizar las 200 iteraciones marcadas al inicio, debido a que la convergencia sucedió antes de lo esperado, para los días siguientes puede realizar la convergencia antes o después, este es el motivo del número de iteraciones definidas.

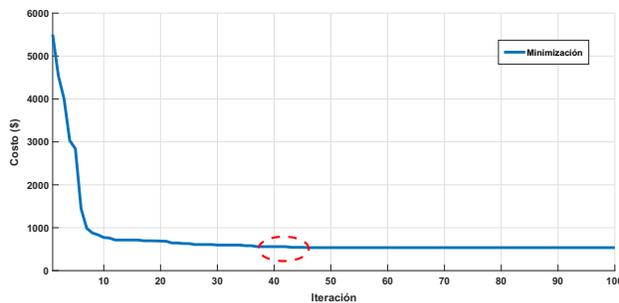


Figura 10. Minimización de costos.

#### 4. CONCLUSIONES

Con base en las figuras mostradas anteriormente, se comprueba la funcionalidad del algoritmo propuesto, se muestra que el despacho de energía que propone el EMS para las 24 horas satisface la demanda de los usuarios, además satisface la función objetivo al minimizar los costos operacionales y cumple con las restricciones propuestas. En la gráfica de la Fig. 5 y 6 se observa que las potencias propuestas para el PV y WT están dentro de los límites posibles en los cuales los sistemas pueden generar.

El balance de energía es importante en una microrred para evitar el desperdicio de energía y para asegurar la energía al usuario, en este trabajo se logró satisfactoriamente, esto se observa en la Fig. 9, el balance energético forma parte de las restricciones y objetivos del trabajo.

La red eléctrica tomó un papel importante en este trabajo debido a su flexibilidad de compra y venta de energía. Por otro lado, el sistema de almacenamiento de energía basado en baterías ayudo bastante para el balance de energía, el BESS puede almacenar el excedente de energía y proporcionar a las cargas en caso de que los generadores no alcancen a cubrir la demanda.

La Fig. 11 muestra la potencia suministrada por parte de los generadores (PV y WT) a lo largo de las 24 horas, además se muestra la interacción de la red eléctrica con la microrred, los momentos de compra y venta se ven claramente. Finalmente, la el sistema de almacenamiento muestra su comportamiento de carga y descarga de energía en ciertos intervalos de tiempo. Esta figura es una comparativa para que se aprecie mejor el funcionamiento de cada uno de los sistemas involucrados en la microrred y su desempeño a lo largo del día.

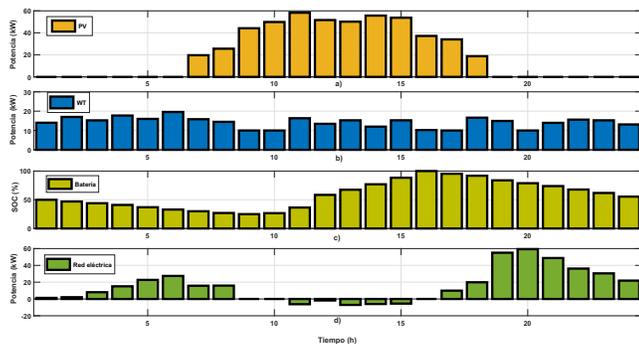


Figura 11. Despacho propuesto por el EMS.

Por otro lado, los costos operativos se reducen al utilizar el EMS, debido a que esta toma las decisiones del despacho que mejor convengan, para este día el costo de operación funcionando con el algoritmo es de \$523.00 MXN, en otro escenario en el que la demanda total se tuviera que satisfacer únicamente con la red eléctrica los costos operacionales serían mayores, ascendiendo a un valor de \$975.36 MXN.

#### REFERENCIAS

- Aguilar-Jiménez, J., Velázquez, N., Acuña, A., Cota, R., González, E., González, L., López, R., and Islas, S. (2018). Techno-economic analysis of a hybrid pv-csp system with thermal energy storage applied to isolated microgrids. *Solar energy*, 174, 55–65.
- Akbari, K., Jolai, F., and Ghaderi, S.F. (2016). Optimal design of distributed energy system in a neighborhood under uncertainty. *Energy*, 116, 567–582.
- Akter, M.N., Mahmud, M.A., Haque, M.E., and Oo, A.M. (2020). An optimal distributed energy management scheme for solving transactive energy sharing problems in residential microgrids. *Applied Energy*, 270, 115133.
- Benlahbib, B., Bouarroudj, N., Mekhilef, S., Abdeldjalil, D., Abdelkrim, T., Bouchafaa, F., et al. (2020). Experimental investigation of power management and control of a pv/wind/fuel cell/battery hybrid energy system microgrid. *International Journal of Hydrogen Energy*, 45(53), 29110–29122.
- Çimen, H., Bazmohammadi, N., Lashab, A., Terriche, Y., Vasquez, J.C., and Guerrero, J.M. (2022). An online energy management system for ac/dc residential microgrids supported by non-intrusive load monitoring. *Applied Energy*, 307, 118136.
- Dey, B., García Márquez, F.P., and Basak, S.K. (2020). Smart energy management of residential microgrid system by a novel hybrid mgwoscacs algorithm. *Energies*, 13(13), 3500.
- Eseye, A.T., Zheng, D., Zhang, J., and Wei, D. (2016). Optimal energy management strategy for an isolated industrial microgrid using a modified particle swarm optimization. In *2016 IEEE international conference on power and renewable energy (ICPRE)*, 494–498. IEEE.
- Gong, X., Dong, F., Mohamed, M.A., Abdalla, O.M., and Ali, Z.M. (2020). A secured energy management architecture for smart hybrid microgrids considering pem-fuel cell and electric vehicles. *Ieee Access*, 8, 47807–47823.
- Hasan, S., Zeyad, M., Ahmed, S.M., and Anubhove, M.S.T. (2023). Optimization and planning of renewable energy sources based microgrid for a residential complex. *Environmental Progress & Sustainable Energy*, e14124.
- Hu, M., Xiao, F., and Wang, S. (2021). Neighborhood-level coordination and negotiation techniques for managing demand-side flexibility in residential microgrids. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 135, 110248.
- Lara, J.D., Olivares, D.E., and Canizares, C.A. (2018). Robust energy management of isolated microgrids. *IEEE Systems Journal*, 13(1), 680–691.
- Moradmand, A., Dorostian, M., and Shafai, B. (2021). Energy scheduling for residential distributed energy resources with uncertainties using model-based predictive control. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 132, 107074.
- Naji Alhasnawi, B., Jasim, B.H., and Esteban, M.D. (2020). A new robust energy management and control strategy for a hybrid microgrid system based on green energy. *Sustainability*, 12(14), 5724.
- Nasr, M.A., Nikkhah, S., Gharehpetian, G.B., Nasr-Azadani, E., and Hosseinian, S.H. (2020). A multi-objective voltage stability constrained energy management system for isolated microgrids. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 117, 105646.
- Olivares, D.E., Lara, J.D., Cañizares, C.A., and Kazerani, M. (2015). Stochastic-predictive energy management system for isolated microgrids. *IEEE Transactions on Smart Grid*, 6(6), 2681–2693.
- Pascual, J., Arcos-Aviles, D., Ursúa, A., Sanchis, P., and Marroyo, L. (2021). Energy management for an electro-thermal renewable-based residential microgrid with energy balance forecasting and demand side management. *Applied Energy*, 295, 117062.
- Phan-Van, L., Takano, H., and Duc, T.N. (2023). A comparison of different metaheuristic optimization algorithms on hydrogen storage-based microgrid sizing. *Energy Reports*, 9, 542–549.
- Romero-Quete, D. and Cañizares, C.A. (2018). An affine arithmetic-based energy management system for isolated microgrids. *IEEE Transactions on Smart Grid*, 10(3), 2989–2998.
- Shahgholian, G. (2021). A brief review on microgrids: Operation, applications, modeling, and control. *International Transactions on Electrical Energy Systems*, 31(6), e12885.
- Solanki, B.V., Bhattacharya, K., and Cañizares, C.A. (2016). Integrated energy management system for isolated microgrids. In *2016 Power Systems Computation Conference (PSCC)*, 1–7. IEEE.
- Solanki, B.V., Cañizares, C.A., and Bhattacharya, K. (2018). Practical energy management systems for isolated microgrids. *IEEE Transactions on Smart Grid*, 10(5), 4762–4775.
- Solanki, B.V., Raghurajan, A., Bhattacharya, K., and Canizares, C.A. (2015). Including smart loads for optimal demand response in integrated energy management systems for isolated microgrids. *IEEE Transactions on Smart Grid*, 8(4), 1739–1748.
- Taghizad-Tavana, K., Ghanbari-Ghalehjouhi, M., Razzaghi-Asl, N., Nojavan, S., and Alizadeh, A.a. (2022). An overview of the architecture of home energy management system as microgrids, automation systems, communication protocols, security, and cyber challenges. *Sustainability*, 14(23), 15938.
- Violante, W., Canizares, C.A., Trovato, M.A., and Forte, G. (2020). An energy management system for isolated microgrids with thermal energy resources. *IEEE Transactions on Smart Grid*, 11(4), 2880–2891.
- Vivas, F., Segura, F., and Andújar, J. (2022). Fuzzy logic-based energy management system for grid-connected residential dc microgrids with multi-stack fuel cell systems: A multi-objective approach. *Sustainable Energy, Grids and Networks*, 32, 100909.