

ESTADO DEL ARTE DE LA ADMINISTRACIÓN DE ENERGÍA EN MICRORREDES AISLADAS

González Flores Juan Ángel, Mina Antonio Jesús Darío, Pérez Flores Alejandro Carlos
Tecnológico Nacional de México/Centro Nacional de Investigación y Desarrollo Tecnológico
Departamento de Ingeniería Electrónica
Interior Internado Palmira S/N, Col. Palmira, C.P. 62490. Cuernavaca, Morelos.
Teléfono: 7771795468
e-mail: m20ce017@cenidet.tecnm.mx

RESUMEN.

En el escenario de una necesidad de cambio en la forma de generar y distribuir la energía eléctrica de manera eficiente, costeable y ecológicamente responsable, las microrredes son una alternativa que ha dado paso a la generación localizada en media y baja tensión. Sin embargo, también existen escenarios, como el de las comunidades rurales que no cuentan con acceso a la red eléctrica, es por este motivo que surgen las microrredes aisladas, las cuales se integran de fuentes de energía distribuida (DER, por sus siglas en inglés) y generadores despachables, que funcionan de manera autónoma; no obstante, enfrentan nuevos retos en la forma de operar. En este contexto, los sistemas de administración de energía (EMS, por sus siglas en inglés) son claves, ya que no solo buscan mantener un balance entre la generación de los DERs y la demanda de las cargas, lo cual es más crítico en microrredes aisladas, sino que también buscan optimizar algunos aspectos asociados con su operación.

En este trabajo, entre otras cosas, se revisan algunas microrredes aisladas y los elementos que las conforman; así como estrategias actuales de EMS para este tipo de microrredes, haciendo énfasis en los tipos de aspectos que se buscan optimizar, las restricciones que se deben cumplir y los métodos de solución del problema de EMS.

Palabras Clave: Microrred, generación distribuida, EMS, función objetivo, restricciones, problema de optimización.

ABSTRACT.

In the scenario of a need to change the way of generating and distributing electrical energy in an efficient, affordable and ecologically responsible manner, microgrids are an alternative for localized generation in medium and low voltage. However, there are also scenarios like rural communities that do not have access to the electricity grid, it is for this reason that isolated microgrids arise, which consist of distributed energy resources (DER) and dispatchable generators, which work in an autonomous way; nevertheless, they face new challenges in the way of operating. In this context, the energy management systems (EMS) are key, given that not only look for the balance between DERs generation and load demand, which is critical in isolated microgrids, but also for optimizing some aspects related with their operation.

This paper, among other things, reviews some isolated microgrids and their components; as such as, current strategies of EMS for this kind of microgrids, emphasizing in the different kind of aspects to optimize, the constraints to fulfill and the methods to solve the EMS problem.

Keywords: Microgrid, distributed generation, EMS, objective function, constraints, optimization problem.

1. INTRODUCCIÓN

Hoy en día la manera convencional para generar energía es usar grandes centrales (sistema centralizado). Sin embargo, estos sistemas son poco convenientes, cuando se revisan algunos aspectos como impacto ambiental y eficiencia, ya que generalmente funcionan a partir de la quema de recursos no renovables como el petróleo, y la entrega de energía a los usuarios se hace a través de largas líneas de transmisión y distribución, que implican una gran infraestructura y altas pérdidas, además de complicaciones en la regulación de voltaje y frecuencia ante la variabilidad de la demanda [1]. Debido a estas desventajas, se han explorado alternativas para que la generación de energía eléctrica se realice de distintas maneras, con la finalidad de reducir sus efectos negativos.

En este sentido, en años recientes, se está dando paso a estaciones de generación de potencia baja, para conectarse directamente a la red de distribución en media y baja tensión, y que se denomina generación distribuida (DER, por sus siglas en inglés). Estas estaciones de generación a su vez, pueden emplear fuentes de energía renovables como: agua, viento, sol, fuentes geotérmicas, fuentes de biomasa, etc. [2]. De esta manera, estos DERs, más allá de su nivel bajo de potencia, se constituyen en fuentes inagotables de energía y que además solucionan los problemas de impacto ambiental, centralización, confiabilidad, calidad y cobertura de los sistemas eléctricos actuales.

Por otro lado, para capitalizar las ventajas de la generación distribuida de una manera más eficiente, y tomando en cuenta las necesidades de sistemas eléctricos más flexibles, se ha evolucionado al concepto de microrredes, es decir, subsistemas eléctricos focalizados, de mediana escala, que integran varios DERs y cargas.

Por sus características, las aplicaciones de microrredes son muy variadas, sin embargo, también son muy útiles en contextos e.g. de zonas rurales remotas; donde llevar el suministro eléctrico supone un alto costo, ya sea por las condiciones geográficas de la zona, porque la instalación de la red de distribución sería compleja o porque el suministro no sería fiable. Aquí se trata de la implementación de microrredes aisladas.

Tomando en cuenta que una microrred está compuesta por DERs, cargas diversas y una infraestructura de líneas eléctricas, su control u operación es todo un reto [3]; entre otros, porque los DERs, si son basados en fuentes renovables de energía, generan de manera aleatoria, por otro lado, porque la demanda de las cargas, también es aleatoria, y porque las líneas eléctricas deben operar con flujos de potencia bidireccionales. Y en el caso de microrredes aisladas, el reto es todavía más complejo. En este sentido, para administrar o coordinar de manera correcta las acciones de los componentes de la microrred, e.g. para un suministro de energía seguro, económico, sostenible y óptimo, es necesario el uso de sistemas de administración de energía (EMS, por sus siglas en inglés).

De manera general, el EMS debe optimizar la operación de la microrred, e.g. los costos de operación, a partir del óptimo reparto de la carga entre los distintos DERs y los sistemas de almacenamiento, así como de la gestión del flujo de energía con la red principal (en microrredes interconectadas). De manera específica, en microrredes interconectadas, el voltaje y la frecuencia vienen fijados por la red de suministro eléctrico, que tiene generadores síncronos y grandes reservas rodantes. Y en el caso de microrredes que funcionen de manera aislada, el EMS, además, deberá gestionar la frecuencia y el voltaje en los diferentes nodos de la microrred [4].

En este contexto, en este trabajo se revisan algunas microrredes aisladas y los elementos que las conforman; así como estrategias actuales de EMSs para este tipo de microrredes, haciendo énfasis en los tipos de aspectos que se buscan optimizar, las restricciones que se deben cumplir y los métodos de solución del problema de EMS.

2. CARACTERÍSTICAS DE MICRORREDES AISLADAS

En general, una microrred aislada es como cualquier otra microrred, que integra diversas fuentes de generación (DERs) y cargas eléctricas; sin embargo, se distinguen porque no tienen interacción con la red principal de suministro eléctrico. En la Figura 1 se muestra un ejemplo de microrred aislada.

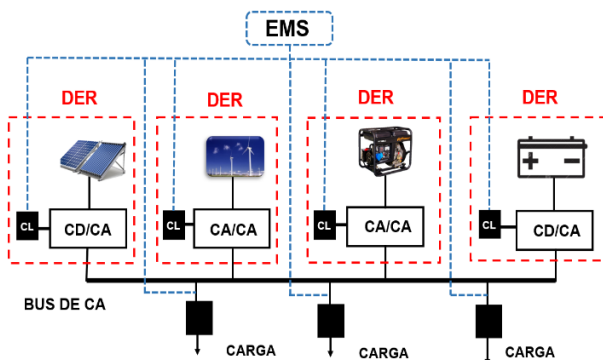


Figura 1. Microrred aislada.

En una microrred, entre los DERs se pueden observar, unidades de generación eléctrica de diversos tipos o fuentes primarias, que generalmente están en el rango de 3 kW a 50 MW. También, pueden incluirse sistemas de almacenamiento de energía (ESS), de diversas naturalezas y capacidades; los cuales, entre otros, permiten que la microrred responda e.g. ante la pérdida de las fuentes de generación.

Cabe resaltar que los DERs en una microrred pueden tomar distintos roles: formador, alimentador o de soporte. En la Figura 2, se muestra un esquema representativo de un DER formador; y su función es, la de proveer los valores de frecuencia y voltaje para los demás DERs. En general, cualquier DER basado en cualquier fuente primaria, podría tomar esta función; sin embargo, en microrredes aisladas, ante la ausencia de la red principal, es común que los generadores diesel tomen este rol y se conocen como generadores despachables [5].

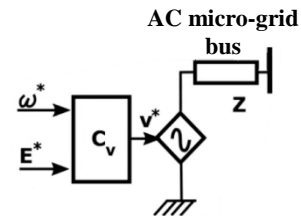


Figura 2. Fuente de voltaje (unidad formadora).

Por otro lado, los DERs alimentadores funcionan como una fuente de corriente tal y como se observa en la Figura 3, en este caso el inversor provee una cantidad predefinida de potencia activa y reactiva.

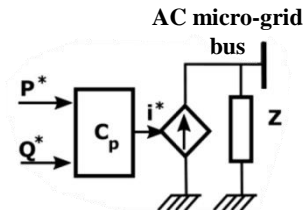


Figura 3. Fuente de corriente (unidad alimentadora).

Finalmente, los DERs de soporte de la red consideran que el inversor puede operar como una fuente de tensión con una impedancia serie o como una fuente de corriente con una impedancia en paralelo. En ambas formas de operación, el principal objetivo es la de participar en la regulación de la amplitud de la tensión y en su frecuencia, mediante el control de la potencia activa y reactiva que se entrega a la microrred.

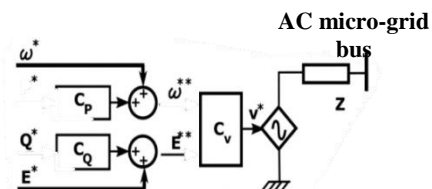


Figura 4. Fuente de voltaje (unidad de soporte).

En cuanto a las cargas en una microrred, son las que definen la demanda de energía, y existen diferentes tipos: cargas críticas, que deberán ser abastecidas siempre; cargas controlables, las cuales se pueden recortar o dejar de abastecer en algunos intervalos de tiempo; y por último, las cargas móviles (e.g. ESSs como cargas, no como fuentes), a las que se puede suministrar una cantidad determinada de energía durante un tiempo determinado. Las microrredes pueden contar con los tres tipos de carga al mismo tiempo o manejar un tipo de carga en específico.

En cuanto al control en una microrred, éste generalmente se define en una estructura jerárquica, en donde se pueden identificar controles de nivel primario, secundario y hasta terciario. Sin embargo, de manera puntual, en esta estructura

por el inversor debe corresponder con la consumida por las cargas.

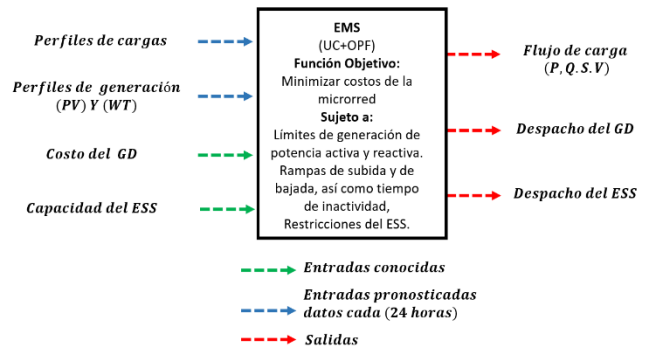


Tabla 1. Características de microrredes aisladas.

| Número de artículo | Tipo de microrred | Cargas | Cantidad de DERs | Tipo de DERs | Cantidad de generadores despachables | Tipo de generador despachables |
|--------------------|--------------------|--------|------------------|-------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------|
| [14] | Propia del trabajo | 3 | 7 | 3FV, 1MT, 1WT, 2ESS (SC y BT) | 1 | Generador Diésel |
| [17] | PRINCE | 2 | 5 | 1ESS(BT), 1FV, 1WT, 2CHP | No Específica | No Específica |
| [16, 18, 20, 21] | CIGRE | 14 | 16 | 2ESS(BT), 3FC, 2CHP, 7FV, 2WT | 3 | Generador Diésel |
| [19] | Propia del trabajo | 29 | 6 | 4ESS(BT), 1WT, 1FV | 4 | Generador Diésel |
| [23] | Propia del trabajo | 14 | 3 | No Específica | 2 | Generador Diésel |
| [24] | (ESUSCON) | 3 | 5 | 1ESS(BT), 2FV, 1WT | 1 | Generador Diésel |
| [25] | Propia del trabajo | 8 | 2 | 1WT, 1FV, 2ESS | 1 | Generador Diésel |

se distinguen dos principales: el control local (CL) y el control superior. El CL es el que se encuentra directamente en cada uno de los DERs o de las cargas controlables, y suelen ser controles en cascada con un lazo interno de control de corriente y un lazo externo de control de potencia activa y reactiva, o de frecuencia y voltaje. Por su parte, el control superior es el EMS y se encarga de gestionar la energía global de la microrred, de manera óptima, mediante la determinación de las referencias e.g. de potencias, que deberán seguir cada uno de los DERs o cargas, a través de sus correspondientes CLs. En este sentido, el EMS debe contar con un medio de comunicación eficiente entre éste y todos los DERs y cargas controlables.

Para seleccionar el tipo de microrred (corriente continua o corriente alterna), depende fuertemente de las tecnologías utilizadas en la generación y gestión de la energía, por ejemplo, la generación fotovoltaica y las baterías proporcionan corriente continua (CD), mientras que la generación con grupos electrógenos, eólica y pequeñas centrales hidroeléctricas proporcionan corriente alterna (CA). En zonas rurales se prefiere el uso de microrredes con acoplamiento mixto CD/CA donde la potencia suministrada

2.1. Resumen de componentes de microrredes aisladas

En la Tabla 1 se muestra de manera detallada los sistemas de generación distribuida que fueron utilizados en trabajos de microrredes aisladas. Algo a destacar en estas referencias es que comúnmente las microrredes aisladas operan de la mano con los generadores despachables, en su mayoría generadores diésel; el sistema puede tener desde 1 generador hasta n generadores de este tipo, dependiendo del tamaño de la microrred. También se muestra la cantidad y tipos de DERs utilizados, así como las cargas conectadas, comúnmente el autor no especifica qué tipo de cargas utiliza.

En los trabajos de la Tabla 1, los DERs más utilizados son los sistemas fotovoltaicos (FV) y los sistemas eólicos (WT); sin embargo, también se utilizan microturbinas (MT), sistemas combinados de calor y energía (CHP) y celdas de combustible (FC). En la parte de ESS, se encuentran trabajos en los que emplean sistemas de baterías (BT), así como supercapacitores (SC).

En relación al tipo de topología de microrred, una de las más utilizadas como caso de estudio estandarizado, para la realización de pruebas es la microrred CIGRE; aunque hay varias propuestas independientes por diversos autores.

3. ADMINISTRACIÓN DE ENERGÍA EN MICRORREDES ELÉCTRICAS

3.1. La estructura general de un sistema de administración de energía

El objetivo de un EMS en una microrred es proporcionar la energía demandada por las cargas haciendo uso de la generación y los sistemas de almacenamiento de manera eficiente y fiable ante cualquier condición. El sistema de administración de energía decidirá el despacho de energía a lo largo del tiempo; esto es, que se encargará de proveer los puntos de operación para la potencia activa y reactiva de cada DER, y/o de voltaje/frecuencia [6].

Figura 5. Estructura del EMS [21].

En este sentido, un EMS es un mecanismo donde los datos de entrada pueden ser: objetivos de operación de la microrred, información de las capacidades de potencia de cada DER, perfiles de potencia previstos de cada DER y otra información relevante sobre la microrred, con el fin de calcular los valores de potencia activa/reactiva que deberán de configurarse como referencias para cada DER de la microrred (ver Figura 5). Esto implica que el EMS en su proceso interno debe definirse como un problema de optimización.

3.2. La administración de energía como un problema de optimización

Como se ha mencionado, el EMS se encarga de definir los valores de referencia de potencia de cada uno de los sistemas de generación, de los ESSs, así como de las cargas despachables; buscando conciliar la generación con la demanda, en un contexto aleatorio. Sin embargo, esta tarea se debe llevar a cabo de manera eficiente, por lo cual, el despacho de energía en un EMS generalmente se plantea como un problema de optimización. Son diversos los objetivos de optimización en una microrred, sintetizados en lo que se conoce como función objetivo (F.O.), que pueden estar relacionados con las pérdidas, con el impacto ambiental, y/o con los costos de operación; siendo este último el más común.

A modo de descripción general, en la ecuación (1) se observa una F.O. planteada para minimizar costos de operación de una microrred aislada, en ella se introdujeron los costos relacionados a los generadores distribuidos f_{DERS} , costos del generador despachable f_D y costos del sistema de almacenamiento de energía f_{ESS} .

$$(1) \quad \min f(x) = f_{DERS}(x) + f_D(x) + f_{ESS}(x)$$

Una F.O. que sintetiza los costos de operación, puede contemplar tantos factores como se desee incluir en el problema de EMS; pero también dependen, de cuánto el diseñador conoce o puede disponer, de información o definición de los costos asociados en la operación de la microrred. Por otro lado, para que la F.O. se cumpla satisfactoriamente, deberán de cumplirse una serie de restricciones ligadas a los diferentes sistemas que involucra la microrred, estas pueden ser límites de potencia activa y reactiva, rampas de subida y de bajada, en lo que se conoce como Unit Commitment (UC); esto para el generador despachable. Para los generadores distribuidos se plantea un balance energético entre la generación y la demanda. Los ESS basan las restricciones en los estados de carga (SOC) de las baterías y otras en los límites de carga y descarga de las baterías. Estas son algunas de las restricciones más comunes empleadas en trabajos de microrredes aisladas, pero el autor puede plantear diferentes restricciones dependiendo de lo que desee incluir, pero para que la función objetivo se cumpla y la operación de la microrred sea eficiente deben cumplirse todas las restricciones planteadas.

Posterior al planteamiento del problema, se debe de emplear algún método de solución o alguna estrategia basada en algoritmos para resolver dicho problema de optimización. En este contexto, varias estrategias han sido abordadas intensamente en los últimos años.

3.3. Sistemas de administración de energía en microrredes aisladas

En la Tabla 2 se describen las características que distintos autores toman en cuenta en los trabajos de microrredes aisladas que tienen EMS, se muestran las restricciones que emplean y los métodos de solución. Gran parte de los autores plantean la F.O. pensando en minimizar costos de operación de la microrred, algunos otros priorizan el funcionamiento óptimo del sistema tratando de minimizar las pérdidas de energía. Para la formulación del problema de optimización las restricciones que más se emplean son las de la UC, las cuales están ligadas al generador diésel, también se emplean restricciones para mantener el equilibrio de potencia activa y reactiva, y otras que pertenecen a los ESS.

En cuanto a los métodos de solución del problema de EMS, se puede observar que el método más empleado es la Programación Lineal de Enteros Mixtos (MILP), se utiliza este método debido a la naturaleza de las cargas y los generadores. También es común encontrar trabajos en los que se utiliza el método MILP, pero tienen como prioridad mantener el balance entre la generación y la demanda, dejando en segundo termino la minimización de costos de la microrred. No obstante, entre otras estrategias, algunos autores proponen un modelo de control predictivo (MPC) de operación y gestión de energía para microrredes aisladas

donde la gestión energética óptima para la microrred se formula como un problema de Programación Cuadrática de Enteros Mixtos (MIQP). Un autor muestra en su trabajo una gestión óptima de energía operando la microrred de manera aislada, muestra los aspectos que se tomaron en cuenta para satisfacer la F.O. basada en minimizar los costos de operación, para ello, utiliza una Programación de Cono de Segundo Orden de Enteros Mixtos (MISOCP). Algunos autores aplican un marco novedoso basado en el método de decisión sobre la brecha de información (IGDT) que puede optimizar eficazmente el índice de incertidumbre en problemas que padecen una grave falta de información para tomar decisiones bien calificadas. En otros trabajos se muestran modelos de EMS que se resuelven con Programación No Lineal de Enteros Mixtos (MINLP). Un autor propone un método distinto a los demás llamado Aritmética Afín (AA) que es una

técnica de análisis de rango, maneja datos de entrada externos internos, es similar a las matemáticas de intervalo. Otros enfoques novedosos para abordar el problema de EMS, lo hacen también usando MPC, pero con despachos de energía que se actualizan en intervalos de tiempo más cortos (en el orden de los pocos minutos); en este sentido, se definen intervalos de tiempo "futuro" que también se van optimizando. Finalmente, en otras referencias abordan el problema haciendo uso de la técnica de Optimización por Enjambre de Partículas (PSO), esta técnica esta inspirada en el comportamiento de los enjambres de insectos en la naturaleza. Sin embargo, otros autores emplean la técnica de Optimización por Enjambre de Partículas Modificadas (MPSO) ya que cuenta con mayor velocidad de convergencia y mejor precisión de solución.

| Referencia | Función | Aspectos a tomar en cuenta en | Restricciones empleadas | Método de solución |
|---|--|---|---|--------------------|
| Tabla 2. Características de trabajos de microrredes aisladas con EMS. | | | | |
| [8] | Minimizar costos de operación de la microrred. | Costos de la GD, costos de puesta en marcha de los DERs y los despachables. | Balace de potencia activa y reactiva, restricciones de la UC y restricciones de los ESS(SOC). | IGDT |
| [9] | Garantizar el funcionamiento óptimo de la microrred. | Costos de la GD, costos de puesta en marcha y paro de los despachables. | Restricciones de la UC, equilibrio de potencia, restricciones de los ESS y restricciones de reserva. | AA |
| [10] | Minimizar costos de operación de la microrred. | Costos de la GD, arranque de los generadores diésel y penalización por reducir cargas. | Balace energético, encendido y apagado del generador despachable. | MILP |
| [11, 21] | Minimizar costos de operación de la microrred. | Costos de la GD, encendido y apagado de los GD y mantenimiento de los ESS. | Restricciones de la UC, equilibrio de potencia y restricciones de los ESS (SOC). | MPC |
| [12] | Minimizar costos de operación de la microrred. | Costos de la GD, mantenimiento de los ESS. | Equilibrio de potencia activa y reactiva, restricciones de los ESS (SOC). | PSO |
| [13] | Minimizar costos de operación de la microrred. | Costos operativos, costos de puesta en marcha y paro del generador diésel. | Balace entre la generación y la demanda, restricciones de la UC, carga y descarga de los ESS. | MIQP |
| [14] | Minimizar costos de operación de la microrred. | Costos de las unidades despachables, costos por la puesta en marcha y paro de los despachables. | Potencia de salida de las unidades, carga y descarga de los ESS. | MPSO |
| [15, 19] | Minimizar costos de operación de la microrred. | Costos de la descarga en el bus y la demanda de energía. | Equilibrio de potencia activa y reactiva, restricciones de la UC y restricciones de los ESS (SOC). | MISOCP |
| [16] | Minimizar costos de operación de la microrred. | Costos de los GD, puesta en marcha y paro de los despachables, flujos de energía. | Equilibrio de potencia activa y reactiva, restricciones de la UC y restricciones de los ESS (SOC). | IGDT |
| [17, 22] | Minimizar costos de operación de la microrred. | Costos de los GD, puesta en marcha y paro del despachable, reducción de carga. | Restricciones de la UC, balace entre la generación y la demanda, carga y descarga de los ESS, restricciones de los ESS (SOC). | MILP |
| [18] | Minimizar pérdidas de energía y reducir costos de operación. | Costos de los GD, puesta en marcha y paro de los despachables. | Equilibrio de potencia activa y reactiva, restricciones de la UC, SOC de los ESS. | MINLP |
| [20] | Minimizar costos de operación de la microrred. | Costos de los GD, puesta en marcha y paro de los despachables. | Equilibrio de potencia, restricciones de la UC. | MINLP |

4. CONCLUSIONES

Basándose en la revisión mostrada en el presente documento, las microrredes aisladas han surgido y se colocan como una opción fiable para generar energía de manera más costeable y eficiente. El hecho de que no están conectadas a la red eléctrica trae con ellos dificultades en la forma de operar, por ejemplo, habrá que definir un DER como formador que proporcione valores de voltaje y frecuencia para los otros DERs, en estos trabajos se observa que el generador diésel toma el papel de formador. En este sentido, los autores hacen énfasis en la necesidad de tener un EMS que ayude a administrar la energía de manera eficiente, manteniendo un balance entre la generación y la demanda.

Para ello, distintos autores formulan el EMS como un problema de optimización. Dentro de la formulación plantean una función objetivo que comúnmente está basada en la reducción de costos de operación o en el ahorro de energía, dentro de ella se pueden incluir costos generados por poner en marcha los sistemas de generación distribuida, de los despachables y de los ESS, todo depende de cuán amplio se quiera o se pueda abordar el problema de EMS. Una vez que se plantea la función objetivo, se deben de definir una serie de restricciones que deberán de satisfacerse para que la F.O. se cumpla y los resultados en la microrred sean los mejores. En esta parte los autores incluyen restricciones de la UC planteadas con base en las características del generador despachable, también incluyen restricciones para mantener un

balance entre la generación y la demanda, por último, integran restricciones de los ESS en donde se observan los estados de carga de las baterías y límites de carga y descarga. Cuando el problema de optimización este planteado habrá que dar una solución, en este documento se muestran algunas técnicas y métodos eficientes que ayudan a dar solución al problema (MPSO, MILP, MINLP, MPC, AA, MIQP, IGDT, PSO, etc.). Tomando como referencia la Tabla 2, se observa que la mayoría de autores utilizan Programación Lineal de Enteros Mixtos (MILP). El objetivo de esta revisión del estado del arte es resaltar las ventajas de las microrredes aisladas, la necesidad de tener un EMS y como es que se encuentran estructuradas. Otra finalidad de este trabajo es mostrar cómo se formula un problema de optimización y las técnicas o métodos utilizados para dar una solución eficiente y costeable.

5. REFERENCIAS

- [1] F. Zúñiga, "Optimal power management in a grid-connected microgrid, based on Multi-Objective Genetic Algorithm MOG", Revista de la facultad de ingeniería físico mecánicas (UIS), pp. 17 - 34, 2017.
- [2] C. Bordon, C. Chezzi, "Estrategia para la Gestión de una Micro Red", Revista de la Facultad Regional Concordia (UTN), pp. 7, 2018.
- [3] G. Barrales, L. Sigrist, "Micro-redes aisladas: un desafío para los DSO", Trabajo de tesis de la escuela técnica superior de ingeniería (ICAI), pp. 124, 2017.
- [4] N. Quijano, A. Pedraza, M. Velásquez, "Isolated microgrids in La Guajira: design and implementation", Revista de Ingeniería Universidad de los Andes, pp. 54-64, 2019.
- [5] N. González, "Estrategias de control de calidad de energía en microrredes rurales", Revista de la facultad de ingeniería físico mecánicas (UIS), pp. 17 - 34, 2017.
- [6] F. Barrera, "Control primario con pendiente variable aplicado en microrredes aisladas", Trabajo de tesis de la Universidad de Chile: Facultad de ciencias físicas y matemáticas departamento de ingeniería eléctrica, pp.121,2017.
- [7] W. Amin, "Voltage and Frequency Regulation on Isolated AC Three-phase Microgrids via-DERs", IEEE, Vol.1, pp.6, 2019.
- [8] M. Nasr, "Risk-averse energy management system for isolated microgrids considering generation and demand uncertainties based on information gap decision theory", Revista Journals IET, pp.940 -951, 2019.
- [9] D. Romero-Quete and C. Cañizares, "An Affine Arithmetic-Based Energy Management System for Isolated Microgrids", IEEE, Vol. 1, pp. 11, 2018.
- [10] J. Lara, D. Olivares, "Robust Energy Management of Isolated Microgrids", IEEE, Vol. 1, pp. 12, 2018.
- [11] M. Zhai, "Robust Model Predictive Control for Energy Management of Isolated Microgrids, IEEE, Vol. 1, pp. 5, 2017.
- [12] A. Rezaee, M. Sadegh, "Dynamic Economic Load Dispatch in Isolated Microgrids with Particle Swarm Optimisation considering Demand Response", IEEE, Vol.1, pp. 5, 2020.
- [13] Y. Zhang, F. Meng, "A comprehensive MPC based energy management framework for isolated microgrids", IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies Conference Europe (ISGT-Europe): Torino, Italy, pp. 26-29,2017.
- [14] A. Tesfaye and J. Zhang, "Optimal Energy Management Strategy for an Isolated Industrial Microgrid Using a Modified Particle Swarm Optimization", IEEE, Vol. 1, pp. 6, 2017.
- [15] J. Giraldo, Jhon A. Castrillon, "Microgrids Energy Management Using Robust Convex Programming", IEEE, Vol. 1, pp. 11, 2018.
- [16] M. Nasr, E. Nasr, "Assessing the Effectiveness of Weighted Information Gap Decision Theory Integrated with Energy Management Systems for Isolated Microgrids", IEEE, Vol. 1, pp. 12, 2019.
- [17] W. Violante, "An Energy Management System for Isolated Microgrids with Thermal Energy Resources", IEEE, Vol. 1, pp. 12, 2020.
- [18] T. Mohamad-Amin, "A multi-objective voltage stability constrained energy management system for isolated microgrids", ELSEVIER, Vol. 1, pp. 11, 2020.
- [19] J. Giraldo, A. Castrillon and A. Castro, "Energy Management of Isolated Microgrids Using Mixed-Integer Second-Order Cone Programming", IEEE, Vol. 1, pp. 5, 2017.
- [20] S. Nikkhah, "A Stochastic Voltage Stability Constrained EMS for Isolated Microgrids in the Presence of PEVs Using a Coordinated UC-OPF Framework", IEEE, Vol. 1, pp. 10, 2020.
- [21] V. Bharatkumar, "Integrated Energy Management System for Isolated Microgrids", IEEE, Vol. 1, pp. 7, 2018.
- [22] A. McIlvenna, "Reducing the computational burden of a microgrid energy management system". ELSEVIER, Vol. 1, pp. 8, 2020.
- [23] M. Farrokhhabadi, "Frequency Control in Isolated/Islanded Microgrids Through Voltage Regulation", IEEE, Vol. 1, pp. 10, 2015.
- [24] R. Palma-Behnke, "A Microgrid Energy Management System Based on the Rolling Horizon Strategy", IEEE, Vol. 1, pp. 11, 2013.
- [25] E. Olivares, "A Centralized Optimal Energy Management System for Microgrids", IEEE, Vol. 1, pp. 6, 2011.