

DESIGN, SIMULATION AND IMPACT OF MICROGRIDS IN DISTRIBUTION NETWORKS – A REVIEW

DISEÑO, SIMULACIÓN E IMPACTOS DE MICRORREDES EN REDES DE DISTRIBUCIÓN – UNA REVISIÓN

Ing. Pedro Fabian Acevedo Rueda, Ing. Juan Diego Caballero Peña, Cristian David Cadena Zarate, PhD. German Alfonso Osma Pinto

Universidad Industrial de Santander

Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones

Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas

Carrera 27 #9. Bucaramanga, Santander, Colombia.

Tel.: 57-7- 6344000, Ext. 2361

E-mail: {pedro2208144, juan2208142, cristian2208143} @correo.uis.edu.co
gealosma@uis.edu.co

Abstract: The penetration of microgrids (MG), as an alternative source of energy production, in low-voltage networks (LV) and buildings will grow in the coming years. This requires planned designs and impact studies since MG can cause undesirable operating conditions for traditional networks. Therefore, it is necessary to know the problems and identify possible strategies to avoid such a scenario; for this reason, this work presents a state of the art that addresses the topics of planning and design objectives, simulation software and techniques, and the impact of microgrids in voltage, power losses, short circuit analysis, dynamic analysis, power quality, resilience, among others. The results of this review allow us to identify aspects in favor of reducing or eliminating harmful damages, such as microgrid design schemes, energy management strategies and microgrid reconfiguration and modularity techniques integrated on distribution networks.

Keywords: Microgrids, design, simulation, resilience, power quality, distribution networks

Resumen: La penetración de las microrredes (MG), como fuente alternativa de producción de energía, ha crecido durante esta década y se espera que esta tendencia continúe durante los próximos años para su uso en redes de baja tensión (BT) y edificaciones. Lo que exigirá diseños planificados y estudios de impacto, debido a que una MG puede ocasionar condiciones indeseables de operación de las redes tradicionales. Por tanto, es preciso conocer los impactos e identificar posibles estrategias para evitar tal escenario. Teniendo en cuenta esto, el siguiente trabajo presenta un estado del arte que aborda los temas de planificación y objetivos de diseño, software y técnicas de simulación, e impacto de microrredes en tensión, pérdidas de potencia, análisis de cortocircuito, análisis dinámicos, calidad de la energía y resiliencia, entre otros. Los resultados de esta revisión permiten identificar aspectos en pro de reducir o eliminar impactos perjudiciales, tales como: esquema de diseño de microrredes, estrategias de gestión de la energía y técnicas de reconfiguración y modularidad de microrredes integradas en redes de distribución.

Palabras clave: Microrredes, diseño, simulación, resiliencia, calidad de la energía, redes de distribución.

1. INTRODUCCION

(Marnay et al., 2015) consideran que una MG es un sistema de distribución eléctrica que contiene cargas y fuentes de energía distribuida, que pueden ser operadas de forma controlada y coordinada, conectada a la red o aislada. Por otra parte, (Smith & Ton, 2013) definen una MG como un conjunto de cargas y recursos energéticos interconectados, que debe tener límites claramente definidos. (Farrokhhabadi et al., 2019) definen a una MG como un grupo de recursos de energía distribuida que opera localmente como una entidad controlable única e incluye fuentes de energías renovables, cargas y sistemas de almacenamiento de energía.

Dentro de las definiciones de MG se observan dos componentes principales, uno de control y otro de generación (Rey Lopez & Vergara Barrios, 2012). El sistema de control está basado en tecnologías de la información y comunicación, por lo cual funciona como el eje principal de la MG que permite la gestión de la generación y el consumo interno por medio de un sistema de medición avanzado. En general, la componente de generación incluye energías renovables (ubicadas por lo general cerca de los sitios de consumo), sistemas de almacenamiento o baterías, reguladores de carga, inversores de tensión, un sistema de transferencia de potencia, protecciones necesarias para garantizar seguridad a la red y un sistema de medición inteligente.

Las MG presentan múltiples ventajas (Berizzi et al., 2019), entre las que destacan: eficiencia energética, reducción de emisiones de gases de efecto invernadero debido al uso de energía renovables, reducción en los costos e incremento de la confiabilidad del sistema. No obstante, una MG puede causar impactos negativos como sobretensiones, huecos de tensión, sobrecarga en las líneas e incremento en las pérdidas de energía, entre otros; tales impactos son causados mayormente por componentes basados en electrónica de potencia, intermitencia de las fuentes renovables de energía y flujos bidireccionales de energía (Abou Houran et al., 2019; De La Torre et al., 2014; Zehir et al., 2017).

Una manera de disminuir los impactos negativos de las MG sobre las redes eléctricas, especialmente en las edificaciones y en las redes de BT, es aplicar los lineamientos expuestos en los estándares internacionales. Los estándares tienen por objetivo garantizar la seguridad y fiabilidad de los sistemas eléctricos ante la integración de fuentes no convencionales de

energía, buscando que los parámetros eléctricos se mantengan dentro de límites establecidos. Específicamente, el Estándar IEEE 1547.4 propone una metodología para la integración de MG a los sistemas de distribución secundarios; el estándar IEEE 2030 proporcionan una guía para realizar una validación de su integración a los sistemas eléctricos y su simulación en ambientes de simulación real (Basso, 2014).

Este trabajo presenta hallazgos sobre aspectos en pro de reducir o eliminar impactos no deseados de MG, tales como: esquema de diseño de MG, estrategias de gestión de la energía y técnicas de reconfiguración y modularidad de MG integradas en redes de distribución. La Sección 2 explica cómo mediante el diseño, planeación y análisis por softwares de simulación se pueden mitigar los impactos negativos en redes de BT. La Sección 3 explica cómo se han cuantificado diversos parámetros y su respectivo análisis. Por último, se presentan las conclusiones del trabajo.

2. MICRORREDES ELÉCTRICAS EN EDIFICACIONES

Las MG son usadas en edificaciones con el propósito de conseguir un alto rendimiento energético. Para cumplir este objetivo, su planificación y diseño de componentes debe ser óptimo (Galisai et al., 2019) y los impactos de su integración en la red BT, reducidos. En (He et al., 2019), la manera de aminorar los efectos negativos es mediante un control de potencia interactivo entre la MG y la red BT y, en (Arbolea et al., 2015), se emplea un sistema inteligente basado en convertidor AC/DC ubicado en el punto común de conexión entre MG de la edificación y la red BT. Dada la importancia de lo anterior, esta sección hace énfasis en el diseño y la simulación de MG construidas para edificaciones.

2.1. Planificación y Diseño de microrredes

El Estándar IEEE 2030.9 ("IEEE Recommended Practice for the Planning and Design of the Microgrid," 2019) indica que la tarea principal de la planificación y diseño de una MG es determinar la configuración de los recursos de energía distribuidos (DER), la estructura de la red eléctrica y las configuraciones del sistema de automatización. El resultado de la planificación debe satisfacer la demanda inmediata, el crecimiento futuro de la demanda y obtener una configuración óptima, minimizando costos e impactos. Según (Gamarra & Guerrero, 2015), a pesar de que cada proceso de planificación tiene su propias limitaciones y objetivos específicos,

existen algunos problemas de planificación que pueden ser comunes en todas las MG, a saber: selección y dimensionamiento de la generación y almacenamiento de energía, ubicación de éstos y despacho en el tiempo.

En general, se utiliza una función de costos de adquisición, operación, mantenimiento, impacto ambiental y técnico del grupo de generadores y almacenadores; además, por medio de diversas metodologías se intenta encontrar el mínimo absoluto de la función. (Vincent et al., 2019) plantean una metodología para el dimensionamiento de un generador FV para una MG residencial que permite garantizar el suministro eléctrico y rentabilidad. (Aldaouab et al., 2017) utilizan una función de costos anuales para dimensionar el generador FV, microturbinas, sistema de almacenamiento y generador Diesel; este planteamiento prioriza la penetración de recursos renovables y es resuelto aplicando algoritmos genéticos. (Atia & Yamada, 2016) también emplean una función de costos anuales (adquisición, operación y mantenimiento, remplazos y compra de energía a la red) de la MG, considerando la respuesta a la demanda de los dispositivos controlables y el comportamiento estocástico de las energías renovables. Por otra parte, (Kumar & Bhimasingu, 2015) utilizan el modelo de optimización híbrido para energías renovables de HOMER para modelar un sistema de energía para un edificio conectado a la red, con el fin de garantizar la viabilidad técnica y financiera, logrando un sistema adaptable a cualquier consumidor crítico y grande de edificios urbanos.

Posterior a resolver el problema de dimensionamiento, es necesario determinar la dinámica de despacho de los recursos energéticos de la MG, considerando que una alta penetración de potencia puede afectar considerablemente las redes de distribución. Para el caso de edificaciones, el despacho puede estar basado en la dinámica térmica de los espacios interiores, tal como muestra (Abou Houran et al., 2019). Esta estrategia de gestión utiliza despacho económico y tiene en cuenta la potencia demanda por los equipos de climatización dentro de la edificación, la cual varía dependiendo de la temperatura del aire en el exterior. En la estrategia empleada por (G. Liu et al., 2017), además de las dinámicas térmicas, se considera el confort del usuario.

Los vehículos eléctricos pueden ser incluidos en el diseño de la estrategia de gestión de una MG en edificaciones, ya que tienen un efecto significativo en el sistema debido al aumento de la carga. (Corchero et al., 2014) diseñaron una estrategia para MG residenciales que cuentan con el sistema “Vehicle-to-Grid” (V2G), que

minimiza los costos asociados al intercambio de energía entre la red y la MG. (Shi et al., 2016) y (N. Liu et al., 2014) no se cuenta con el V2G, pero se consideran los problemas que podría acarrear el sistema de distribución debido a la carga de vehículos no coordinados. La primera solución plantea un despacho económico solucionado por una optimización robusta y la segunda plantea una estrategia de operación heurística.

2.2 Simulación de microrredes

La simulación de las MG es necesaria para estudiar condiciones de funcionamiento, prever posibles fallas dentro del sistema y que los parámetros eléctricos después de la integración de las MG no excedan los límites establecidos. En la literatura, se puede encontrar que uno de los softwares más utilizados en la simulación de MG es Matlab/Simulink. (Puianu et al., 2017) lo utilizan para la simulación de un sistema fotovoltaico y turbinas de viento para una MG residencial. (Hu et al., 2017) lo emplean para analizar un sistema de almacenamiento para un arreglo fotovoltaico dentro de la MG (Vasluianu et al., 2019) lo implementan en la simulación de un sistema de control para MG basado en tablas de decisión. Por otra parte, (Ghomri et al., 2018) aprovechan Matlab/Simulink junto con eMEGAsim para simular en tiempo real MG en el área del Sahara Argelino.

OpenDSS es otro software comúnmente empleado. (Xiao et al., 2013) utilizan este software junto con MATLAB para validar los datos de un modelo que permite optimizar la potencia de salida de los generadores distribuidos. (Silva & Guerra, 2018) muestran su uso para la simulación de microrredes. Otra herramienta computacional usada en el dimensionamiento y simulación de MG se denomina HOMER; (Gaviria & Lopez, n.d.) se valen de esta para la simulación de MG aisladas. Otro software utilizado es DiGSILENT, para el análisis de la operación y estabilidad de microrredes, un ejemplo de esto se observa en (Astapov & Palu, 2017).

3.3. IMPACTO DE LAS MICRORREDES EN REDES DE DISTRIBUCIÓN

La conexión de MG a redes de distribución tiene impactos técnicos y económicos debido a la variabilidad de potencia generada por fuentes renovables de energía, sistemas de almacenamiento y componentes basados en electrónica de potencia. Por esto, es necesario cuantificar el impacto en los parámetros eléctricos de tensión, pérdidas de potencia,

análisis dinámicos y de corto circuito, calidad de la energía y resiliencia. En este capítulo se presentan los diversos estudios que abordaron el tema.

3.1. Impacto en tensión

(De La Torre et al., 2014) presentan dos casos de estudio; uno de ellos tiene GD en la MG y opera conectada al sistema de distribución, los niveles de tensión para cada nodo mejoran; sin embargo, en un segundo caso integra vehículos eléctricos, lo que empeora la regulación de tensión del sistema debido al aumento de carga en el sistema. Por su parte, (Micallef & Staines, 2017) presentan una arquitectura jerárquica en cascada de MG para maximizar la potencia activa entregada y evitar variaciones no deseadas en el voltaje. Los resultados de simulación evidencian que la inyección adicional de potencia reactiva desde los inversores de la MG ante, por ejemplo, una caída de tensión de 60%, permite regular el voltaje y mantenerlo en la banda de $\pm 10\%$ de la condición de operación normal. (Zehir et al., 2017) reportan un caso de estudio que aborda la integración de una microrred con una red de distribución mediante simulaciones estocásticas y en estado cuasi estable. Los resultados muestran que los aumentos de voltaje no alcanzan niveles extremos cuando la duración del suministro máximo de la microrred no coincide con la duración del consumo total máximo.

3.2. Impacto en pérdidas de potencia activa y reactiva

Considerando que las pérdidas de potencia deterioran los conductores y tienen relación directa con pérdidas técnico-económicas para el transportador de energía, es necesario cuantificar las variaciones de este parámetro. Por ejemplo, (De La Torre et al., 2014) observan una disminución de pérdidas de potencia activa a la mitad, debido a la integración de una MG con GD en su caso de estudio. (Zehir et al., 2017) realizan la comparación entre un análisis en el cual se estudia en detalle el comportamiento y los tiempos de generación y demanda diaria; y otro en el cual se consideran casos extremos. Se encuentra que las pérdidas de potencia activa son mucho más bajas en el primer caso que en el segundo y, adicionalmente, que eran mayores cuando la operación es sin conexión a la MG.

3.3 Análisis de cortocircuito

Un análisis de cortocircuito busca analizar la integridad del sistema eléctrico y la efectividad de los dispositivos de protección ante la integración de MG y GD (Photovoltaics &

Storage, 2014). (De La Torre et al., 2014) concluyen que los niveles de cortocircuito aumentan con la integración de la GD, debido a que las impedancias de cortocircuito de las centrales distribuidas disminuyen (de Barcellos Martins et al., 2019) analizan el nivel de cortocircuito en una MG conectada a una red ante la penetración de cuatro tipos de generadores distribuidos: DFIG, generador fotovoltaico, síncrono y de inducción. Al aplicar fallas trifásicas sólidas en distintas barras, se aprecia un aumento significativo en las corrientes de corto para cada tipo de generador cuando éstos tienen un alto porcentaje de penetración. (Kai-Hui & Ming-Chao, 2011) estudian el impacto de la MG en las protecciones de la red de distribución radial concluyendo que la variación de las corrientes de cortocircuito depende de la ubicación de la integración de GD, de las condiciones de falla y los flujos bidireccionales.

3.4. Impacto en pérdidas de potencia activa y reactiva

Los análisis dinámicos son importantes para ver la respuesta de los sistemas eléctricos ante perturbaciones (cambios de carga y/o generación, cortocircuitos, contingencias). Por ejemplo, (Banjar-Nahor et al., 2018) estudian el impacto que tiene una red eléctrica en la estabilidad de tensión, frecuencia y ángulo ante la integración de una MG. La estabilidad de frecuencia se deteriora con la integración de energías renovables variables a través de inversores, aunque la estabilidad de tensión no se ve considerablemente afectada, siempre y cuando los inversores ayuden al control de la tensión. Por otra parte, (Ferraro et al., 2017) concluyen que la respuesta dinámica en frecuencia de los sistemas de prueba se ve afectada proporcionalmente por el número y el tamaño de la MG y por las dimensiones de sus unidades de almacenamiento.

3.5. Calidad de la energía y confiabilidad

Las MG tienen elementos diseñados con electrónica de potencia comportándose como elementos no lineales del sistema, lo cual afecta la calidad de la energía. Por esa razón, se presentan algunos trabajos que han cuantificado la calidad de la energía y otros que abordaron el tema de la confiabilidad del sistema. (Nunes et al., 2017) toman como caso de estudio una MG desequilibrada real; de acuerdo con mediciones, el THDv tiene un valor promedio para las tres fases de 2% y el THDi tiene un valor promedio de 1.2% en el PCC; los puntos máximos de estas medidas se presentan cuando aumenta la penetración de potencia de paneles fotovoltaicos.

Por su parte, (Sagar & Kumar, 2015) consideran la conexión de microrredes a una red de distribución radial en tres configuraciones diferentes, y encuentran una mejora la confiabilidad al ser una fuente adicional de alimentación de la carga.

3.6. Resiliencia

Dada la importancia de la infraestructura de los sistemas de distribución, se hace necesario estudiar su vulnerabilidad ante desastres naturales que afecten su integridad operativa. Además, proponer métodos para analizar la resiliencia con el fin de tomar medidas oportunas y estratégicas para mitigar los impactos de los eventos en las redes de distribución (Öner & Abur, 2018). (Mousavizadeh et al., 2020) plantean que la integración de MG en redes de distribución aumenta el modularidad (división del sistema en subsecciones multi independientes) de éstos; el estudio concluye que las secciones con capacidad de generación e interacciones adecuadas tienen mayor nivel de supervivencia; además subraya la importancia que tiene la capacidad de conmutación, generación y control de la carga en el nivel de resiliencia del sistema. (Khederzadeh & Zandi, 2019) se basan en una idea similar a la anterior, reconfigurando la red de distribución y usando la MG como fuentes de energía en ausencia del suministro primario. Los resultados muestran que el método propuesto puede restaurar más cargas fuera de servicio en caso de fallas únicas y cargas más críticas en escenarios de fallas múltiples.

4. CONCLUSIONES

La integración de MG a los sistemas eléctricos existentes es un campo de acción ampliamente explorado y, debido a la importancia que representa, se han realizado múltiples desarrollos referentes al diseño, planeación y gestión de los recursos energéticos. Diversos estudios han centrado sus esfuerzos en cuantificar los impactos producidos por la integración de MG en las redes de distribución. En la mayoría de los casos, se emplea la comparación entre escenarios de operación del sistema, variando la estrategia de gestión de la energía, la ubicación de los puntos de generación y la configuración o estructura de las redes. Se reconocen distintos métodos de simulación y algoritmos como potentes herramientas que permiten ejecutar detalladamente los estudios y analizar las variables involucradas en ellos, al igual que variedad de softwares que permiten simular MG para evaluar diversos impactos técnicos y económicos. Los principales resultados de las investigaciones han evidenciado, entre otros: la posibilidad de que las MG se interconecten a las

redes secundarias teniendo en cuenta una planificación y gestión de los recursos energéticos, además, de una validación por simulación del correcto funcionamiento e impactos en tensión, pérdidas, protecciones, etc.

REFERENCIAS

- About Houran, M., Chen, W., Zhu, M., & Dai, L. (2019). Economic Dispatch of Grid-Connected Microgrid for Smart Building Considering the Impact of Air Temperature. *IEEE Access*, 7, 70332–70342.
- Aldaouab, I., Daniels, M., & Hallinan, K. (2017). Microgrid cost optimization for a mixed-use building. *2017 IEEE Texas Power and Energy Conference (TPEC)*, 1–5. <https://doi.org/10.1109/TPEC.2017.7868271>
- Arbolea, P., Gonzalez-Moran, C., Coto, M., Falvo, M. C., Martirano, L., Sbordon, D., Bertini, I., & Di Pietra, B. (2015). Efficient energy management in smart micro-grids: ZERO grid impact buildings. *IEEE Transactions on Smart Grid*, 6(2), 1055–1063.
- Astapov, V., & Palu, I. (2017). Operation and stability analysis for standalone microgrid through simulations in DigSilent software. *2017 18th International Scientific Conference on Electric Power Engineering (EPE)*, 1–6.
- Atia, R., & Yamada, N. (2016). Sizing and analysis of renewable energy and battery systems in residential microgrids. *IEEE Transactions on Smart Grid*, 7(3), 1204–1213.
- Banjar-Nahor, K. M., Garbuio, L., Debusschere, V., Hadjsaid, N., & Sinisuka, N. (2018). Study on Renewable Penetration Limits in a Typical Indonesian Islanded Microgrid considering the Impact of Variable Renewables Integration and the Empowering Flexibility on Grid Stability. *2018 IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies Conference Europe (ISGT-Europe)*, 1–6.
- Basso, T. (2014). IEEE 1547 and 2030 standards for distributed energy resources interconnection and interoperability with the electricity grid IEEE 1547 and 2030 standards for distributed energy resources interconnection and interoperability with the electricity grid. *NREL, US NREL/TP-5D00-63157*.
- Berizzi, A., Delfanti, M., Falabretti, D., Mandelli, S., & Merlo, M. (2019). Electrification processes in developing countries: Grid expansion, microgrids, and regulatory framework. *Proceedings of the*

- IEEE*, 107(9), 1981–1994.
<https://doi.org/10.1109/JPROC.2019.2934866>
- Corchero, C., Cruz-Zambrano, M., & Heredia, F.-J. (2014). Optimal energy management for a residential microgrid including a vehicle-to-grid system. *IEEE Transactions on Smart Grid*, 5(4), 2163–2172.
- de Barcellos Martins, D., Júnior, J. C. de M. V., & Júnior, B. R. P. (2019). Investigation of the Impacts of a Multiple-DG Microgrid on the Short-Circuit Levels of a Distribution System. *2019 IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies Conference-Latin America (ISGT Latin America)*, 1–6.
- De La Torre, D., Morillo, J. L., Velasquez, M. A., & Quijano, N. (2014). Technical assessment of microgrids integration into distribution systems. *2014 IEEE PES Transmission and Distribution Conference and Exposition, PES T and D-LA 2014 - Conference Proceedings, 2014-Octob*, 1–6.
<https://doi.org/10.1109/TDC-LA.2014.6955234>
- Farrokhhabadi, M., Cañizares, C. A., Simpson-Porco, J. W., Nasr, E., Fan, L., Mendoza-Araya, P. A., Tonkoski, R., Tamrakar, U., Hatziargyriou, N., & Lagos, D. (2019). Microgrid stability definitions, analysis, and examples. *IEEE Transactions on Power Systems*, 35(1), 13–29.
- Ferraro, P., Crisostomi, E., Raugi, M., & Milano, F. (2017). On the impact of microgrid energy management systems on power system dynamics. *2017 IEEE Power & Energy Society General Meeting*, 1–5.
- Galisai, S., Ghiani, E., & Pilo, F. (2019). Multi-Objective and Multi-Criteria Optimization of Microgrids for Nearly Zero-Energy Buildings. *2019 International Conference on Smart Energy Systems and Technologies (SEST)*, 1–6.
- Gamarra, C., & Guerrero, J. M. (2015). Computational optimization techniques applied to microgrids planning: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 48, 413–424.
<https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.04.025>
- Gaviria, F. A., & Lopez, Y. U. (n.d.). *Análisis multicriterio y simulación de una microred aislada para electrificación rural en Colombia usando HOMER. Multicriteria analysis and simulation of a micro-grid for rural electrification in Colombia using HOMER*.
- Ghomri, L., Khiat, M., & Khiat, S. A. (2018). Modeling and real time simulation of microgrids in Algerian Sahara area. *2018 IEEE International Energy Conference (ENERGYCON)*, 1–5.
- He, L., Wei, Z., Yan, H., Xv, K.-Y., Zhao, M., & Cheng, S. (2019). A Day-ahead Scheduling Optimization Model of Multi-Microgrid Considering Interactive Power Control. *2019 4th International Conference on Intelligent Green Building and Smart Grid (IGBSG)*, 666–669.
- Hu, G., Li, S., Cai, C., Wu, Z., & Li, L. (2017). Study on Modeling and Simulation of Photovoltaic Energy Storage Microgrid. *2017 4th International Conference on Information Science and Control Engineering (ICISCE)*, 692–695.
- IEEE Recommended Practice for the Planning and Design of the Microgrid. (2019). In *IEEE Std 2030.9-2019* (pp. 1–46).
<https://doi.org/10.1109/IEEESTD.2019.8746836>
- Kai-Hui, Z., & Ming-Chao, X. (2011). Impacts of microgrid on protection of distribution networks and protection strategy of microgrid. *2011 International Conference on Advanced Power System Automation and Protection*, 1, 356–359.
- Khederzadeh, M., & Zandi, S. (2019). Enhancement of distribution system restoration capability in single/multiple faults by using microgrids as a resiliency resource. *IEEE Systems Journal*, 13(2), 1796–1803.
- Kumar, Y. V. P., & Bhimasingu, R. (2015). Renewable energy based microgrid system sizing and energy management for green buildings. *Journal of Modern Power Systems and Clean Energy*, 3(1), 1–13.
- Liu, G., Starke, M., Xiao, B., Zhang, X., & Tomsovic, K. (2017). Community microgrid scheduling considering building thermal dynamics. *2017 IEEE Power & Energy Society General Meeting*, 1–5.
- Liu, N., Chen, Q., Liu, J., Lu, X., Li, P., Lei, J., & Zhang, J. (2014). A heuristic operation strategy for commercial building microgrids containing EVs and PV system. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 62(4), 2560–2570.
- Marnay, C., Chatzivasileiadis, S., Abbey, C., Iravani, R., Joos, G., Lombardi, P., Mancarella, P., & Von Appen, J. (2015). Microgrid evolution roadmap. *Proceedings - 2015 International Symposium on Smart Electric Distribution Systems and Technologies, EDST 2015*, 139–144.
<https://doi.org/10.1109/SEDST.2015.7315197>
- Micallef, A., & Staines, C. S. (2017). Voltage rise mitigation and low voltage ride through capabilities for grid-connected low voltage microgrids. *2017 19th European Conference on Power Electronics and Applications (EPE'17 ECCE Europe)*, P-1.
- Mousavizadeh, S., Bolandi, T. G., Haghifam,

- M.-R., Moghimi, M., & Lu, J. (2020). Resiliency analysis of electric distribution networks: A new approach based on modularity concept. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 117, 105669.
- Nunes, E. A. F., Alves, D. K., Dantas, E. S., Rocha, T. O. A., Ribeiro, R. L. A., & Costa, F. B. (2017). Impact of pv systems on microgrids under different levels of penetration and operational scenarios. *2017 Brazilian Power Electronics Conference (COBEP)*, 1–6.
- Öner, A., & Abur, A. (2018). Improving resiliency of power grids during extreme events. *2018 North American Power Symposium (NAPS)*, 1–5.
- Photovoltaics, D. G., & Storage, E. (2014). *IEEE Guide for Conducting Distribution Impact Studies for Distributed Resource Interconnection*.
- Puianu, M., Flangea, R.-O., Arghira, N., & Iliescu, S. S. (2017). Microgrid simulation for smart city. *2017 9th IEEE International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications (IDAACS)*, 2, 607–611.
- Rey Lopez, J. M., & Vergara Barrios, P. P. (2012). *Diseno De Una Micro Red De Baja Tension Para El Laboratorio De Integracion Energetica Del Paruqe Tecnologico De Guatiguara*. Universidad Industrial de Santander, Escuela de Ingeniería Eléctrica
- Sagar, E. V., & Kumar, G. K. (2015). Reliability improvement of radial distribution systems using Microgrids placed on distributors. *2015 Conference on Power, Control, Communication and Computational Technologies for Sustainable Growth (PCCCTSG)*, 97–101.
- Shi, R., Sun, C., Zhou, Z., Zhang, L., & Liang, Z. (2016). A robust economic dispatch of residential microgrid with wind power and electric vehicle integration. *2016 Chinese Control and Decision Conference (CCDC)*, 3672–3676.
- Silva, C. D. V., & Guerra, A. M. (2018). OPENDSS aplicado al modelamiento y simulación dinámica de micro redes. *Visión Electrónica*, 12(2), 3.
- Smith, M., & Ton, D. (2013). Key connections: The us department of energy? s microgrid initiative. *IEEE Power and Energy Magazine*, 11(4), 22–27.
- Vasluianu, M., Faida, O. C. N., Flangea, R., Giorgian, N., & Marinescu, M. (2019). Microgrid System for a Residential Ensemble. *2019 22nd International Conference on Control Systems and Computer Science (CSCS)*, 375–379.
- Vincent, R., Ait-Ahmed, M., Houari, A., & Benkhoris, M. F. (2019). Residential microgrid photovoltaic panel array sizing optimization to ensure energy supply and financial safety. *2019 6th International Conference on Control, Decision and Information Technologies (CoDIT)*, 226–231.
- Xiao, H., Pei, W., Qu, H., Ouyang, H., & Mu, L. (2013). Dynamic optimal operation of microgrid for reduced costs based on pattern search algorithm. *2013 International Conference on Electrical Machines and Systems (ICEMS)*, 257–261.
- Zehir, M. A., Batman, A., Sonmez, M. A., Font, A., Tsiamitros, D., Stimoniaris, D., Kollatou, T., Bagriyanik, M., Ozdemir, A., & Dialynas, E. (2017). Impacts of microgrids with renewables on secondary distribution networks. *Applied Energy*, 201, 308–319.
<https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2016.12.138>