

DISTRIBUCIÓN CON REDES INTELIGENTES: DESAFÍOS Y VENTAJAS DE LA INTEGRACIÓN DE LOS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS EN MICRORREDES

DISTRIBUTION WITH SMART GRIDS: CHALLENGES AND ADVANTAGES
OF PHOTOVOLTAIC SYSTEM INTEGRATION IN MICROGRIDS

Luis Alejandro Duarte Rodríguez

Ingeniería Ambiental, Universidad Nacional Abierta y a Distancia
luis.duarte@unad.edu.co

María Elsa Suárez Valderrama

Estudiante 6th semestre, Tecnología en Saneamiento Ambiental,
Universidad Nacional Abierta y a Distancia
mariaelsasuarez6@gmail.com

Ivonn Lorena Márquez Aguilar

Estudiante 6th semestre, Tecnología en Saneamiento Ambiental,
Universidad Nacional Abierta y a Distancia
iloma.lm@gmail.com

RESUMEN.

En el presente trabajo se discuten brevemente las motivaciones ambientales y tecnológicas que han conducido a la creación del concepto de Redes Inteligentes, así como el modo por el cual los sistemas de potencia deben evolucionar en el futuro. El desarrollo de las tecnologías sostenibles, tales como los sistemas fotovoltaicos, están impulsando en esa dirección. Además, se presentan las principales diferencias entre las redes pasivas de distribución tradicionales y las redes activas de distribución. Se discute que las redes activas están diseñadas para permitir flujo de energía en forma bidireccional y control local. Asimismo, las redes activas facilitan la generación distribuida de energía, lo que puede permitir la reducción de las pérdidas de potencia de transmisión

DOI: <https://doi.org/10.22490/26653176.3520>

por largos recorridos, y la operación independiente de generadores de energía. Para finalizar, se discute en forma breve algunos aspectos que necesitan ser investigados más a fondo, con el fin de asegurar una correcta operación de las redes de distribución activa.

Palabras Clave: Redes de distribución activa; sistemas de potencia; generación distribuida de energía; fuentes de energía renovable.

ABSTRACT.

In the present work, we briefly discuss the environmental and technological motivations that have led to the construction of the Smart Grid concept, as well as the way in which power systems should evolve in the future. Development of sustainable technologies such as photovoltaic systems are driving in that direction. In addition, the main differences between traditional passive distribution networks and active distribution networks are presented. It is discussed that active networks are designed to allow bi-directional energy flow and local control. Likewise, active networks facilitate energy distributed generation, which may allow the reduction of transmission power losses, due to long ways and the independent operation of energy generators. Finally, some aspects that need to be further investigated in order to ensure a correct operation of active distribution networks are bravely discussed.

Keywords: Active distribution networks; power systems; energy distributed generation; renewable energy sources.

INTRODUCCIÓN.

La energía eléctrica representa una de las principales fuentes para el desarrollo cultural, económico, científico y tecnológico de una sociedad. Este recurso se halla presente en la dinámica oferta - demanda, impactando de forma directa e indirecta diferentes aspectos como el funcionamiento de grandes sistemas industriales y domésticos, la estructuración de precios de bienes y servicios, fomento de nuevas tecnologías, bienestar social, entre otras. Sin embargo, la producción de energía eléctrica también conlleva a tener impactos negativos que afectan el medio ambiente. Las políticas energéticas actuales integran cobertura y responsabilidad social con normas que incentivan la generación de energías renovables. Algunas fuentes de donde se obtienen energías renovables son el sol, el viento, la gravedad, la rotación de la tierra y el calor interno de la tierra (González, 2009).

Las energías renovables han sufrido un acelerado crecimiento en los últimos años gracias a los grandes desarrollos a nivel científico y tecnológico, impulsados en gran parte por la necesidad creciente de encontrar formas alternativas para suplir la demanda energética y lograr una independencia del uso de combustibles fósiles, los cuales inevitablemente se están agotando y continúan causando grandes perjuicios a nivel ambiental y climático (Bruce, 2008). Una de las tecnologías que ha crecido en forma más acelerada recientemente es la energía solar fotovoltaica. Existen varios factores que determinan su conveniencia, entre ellos, la radiación solar, la ubicación geográfica e inclinación del panel y las condiciones climáticas de la zona de interés. Así mismo, aspectos operativos en la implementación de esta tecnología, como el tipo de sistema fotovoltaico instalado, aislado o integrado a la red

eléctrica, brindan factores diferenciadores en el funcionamiento, que dependen estrictamente de los requerimientos del usuario final. El principal objetivo de los sistemas aislados es proporcionar la energía eléctrica para ambientes limitados y/o remotos, mientras que los sistemas fotovoltaicos integrados a la red eléctrica tienen como objetivo maximizar anualmente la producción de energía eléctrica que es inyectada a la red (González, 2009; Zhu et al., 2017).

Además del acelerado crecimiento de nuevas tecnologías, algunos otros aspectos han motivado a muchos países hacia la búsqueda de otras alternativas más sostenibles para abastecerse de energía. En particular, el crecimiento de la demanda energética, especialmente en países en vía de desarrollo, como China, India y algunos países latinoamericanos como Chile, Brasil, Colombia; las crecientes preocupaciones ambientales y el agotamiento de las reservas tradicionales de combustibles fósiles, están motivando a la movilización hacia tecnologías más sostenibles que hagan uso de fuentes de energía renovable como la eólica y la solar (Ebina, 2018). Sin embargo, debido a la intermitente e incontrolable naturaleza de las fuentes de energía renovable, su integración en los sistemas de potencia constituye un gran desafío (Yoldaş et al., 2017). Hay diferentes modos de enfrentar este reto, algunas de ellas relacionan la integración de microrredes como parte de la solución. Esto será posible gracias al uso de dispositivos electrónicos de potencia, la selección de topologías de sistema apropiadas y la aplicación de un adecuado control y esquemas de protección en redes locales a pequeña escala (Bollen et al., 2017). Este precisamente es el tema que se abordará en el presente escrito, el objetivo es ampliar algunas de las perspectivas que se tienen respecto a la generación de nuevos sistemas de redes de distribución de energía,

que permitan y faciliten en mayor escala la integración de los sistemas fotovoltaicos y en general, de las fuentes de energía renovable no convencionales, a la matriz energética mundial. Se discutirán entre otras cosas las ventajas y mayores desafíos que enfrenta la comunidad científica y tecnológica, a la hora de pretender hacer que el sistema tradicional de distribución de energía sea “más inteligente”.

METODOLOGÍA.

La metodología de la presente revisión se basó en la consulta de distintas bases de datos, revistas de investigación y reportes de agencias en el mundo, todas ligadas en forma estrecha con el tema de interés. Se revisó la información obtenida y se seleccionaron los documentos que contienen la información más relevante. Una vez hecho esto, se procedió a hacer lectura minuciosa y detallada de los documentos seleccionados y se organizó la información obtenida para presentarla en forma coherente y organizada, para garantizar una mayor comprensión de la información aquí presentada.

DISCUSIONES Y RESULTADOS

Entre las razones del creciente interés en la investigación y desarrollo de las redes inteligentes y microrredes, se pueden resaltar la evolución de nuevas tecnologías tales como, dispositivos electrónicos de potencia (diodos, transistor, inversor, rectificador, etc.) y sistemas fotovoltaicos. Se espera que la integración de este tipo de tecnologías afecte positivamente la eficiencia, impacto ambiental y desempeño económico de los sistemas de potencia (Lasseter, 2011).

Cuando las fuentes de energía renovable y sistemas de almacenamiento son integradas en forma descoordinada, estos nuevos componentes pueden crear problemas de tipo técnico, económico y operacional. Así, como ya se mencionó antes, la intermitente e incontrolable naturaleza de las fuentes de energía renovable representa un reto para el funcionamiento exitoso de los sistemas de potencia; especialmente porque mantener el balance entre generación y consumo representa en sí mismo una difícil tarea (Smets et al., 2016). Es así como el concepto de red inteligente se ha originado a partir de la necesidad de hacer frente a este desafío, y de que los sistemas de potencia existentes sean más “inteligentes” (Jiayi et al., 2008).

Actualmente se encuentran diferentes definiciones para describir el concepto de red inteligente. Varios Centros de investigación, agencias e instituciones en el mundo han ideado su propia definición, enfocándose más en uno u otro aspecto (EU-Platform, 2006; Nadia, 2018). Una de las definiciones más completas es la presentada por la comisión europea, la cual define las Redes Inteligentes como redes que pueden monitorear los flujos de energía y ajustarse a cambios de acuerdo a la oferta y demanda energética. Cuando se acopla con sistemas de medición inteligentes, las Redes Inteligentes pueden llegar a clientes y proveedores proporcionando información de consumo en tiempo real (Commission, 2016). Con contadores inteligentes, los consumidores pueden adaptar, en tiempo y en cantidad, su consumo a diferentes tarifas durante el día, ahorrando dinero en sus facturas de energía por consumir mayor energía en periodos de menor precio (Yoldaş et al., 2017).

Otro de los principales atractivos de las Redes Inteligentes es que pueden ayudar a integrar mejor las energías renovables. El sol no ilumina

continuamente y el viento no sopla igual a toda hora. Así, combinando información sobre la demanda energética y los pronósticos del tiempo, los operadores de red pueden planear mejor la integración de las fuentes de energía no convencionales a la red de suministro energético y mantener así el balance de la potencia. Las Redes inteligentes también proveen la oportunidad para que los consumidores quienes producen su propia energía, puedan vender el exceso de energía producida a la red de suministro de acuerdo a los precios del mercado (Emmanuel & Rayudu, 2017).

Teniendo en cuenta todas las ventajas que pueden ofrecer las Redes Inteligentes, resulta lógico preguntarse, ¿Como se pueden construir las Redes Inteligentes? Adoptando un enfoque de -lo pequeño a lo grande- se inicia el camino hacia una implementación exitosa de las redes inteligentes. No obstante, es necesario comenzar asegurando que cada pequeña unidad que conforma la red pueda ser operada en forma flexible, confiable y estable. Esta pequeña unidad o celda unidad de la red puede ser referida como microrred (Lasseter, 2011; Yoldaş et al., 2017), y en ella se centrará gran parte de la atención de este reporte. Como se mencionará más adelante, las microrredes son redes a pequeña escala que están en la capacidad de facilitar la integración de las fuentes de energía no convencionales, como la energía fotovoltaica, y el suministro controlable mediante la flexibilidad en la operación y el control. La masificación de otras nuevas tecnologías, tales como vehículos eléctricos y estaciones de almacenamiento de energía jugaran un activo rol en estos tipos de redes.

Se espera que, en las próximas décadas las sociedades se muevan desde el actual sistema de red denominado red de distribución pasiva hacia una

red de distribución activa más controlable e inteligente. Así las cosas, en el futuro cercano, se espera que las redes de distribución tengan un rol más activo en la operación, control y monitoreo de las redes eléctricas. De acuerdo a la definición dada por el Consejo Internacional de Grandes Sistemas Eléctricos (CIGRE), una red de distribución activa es una eficiente plataforma para controlar una combinación de recursos energéticos distribuidos, incluyendo generadores distribuidos, alimentación y almacenamiento (CIGRE, 2009). Bajo este esquema, los operadores del sistema de distribución tienen la posibilidad de administrar los flujos de electricidad usando una topología de red flexible. Una de las características más importantes de tales redes es que el flujo de energía se vuelve bidireccional. Además, la toma de decisiones y control se vuelve descentralizado, a diferencia del actual modelo donde todas las decisiones se llevan a cabo por una autoridad centralizada (Emmanuel & Rayudu, 2017).

Hoy en día, la mayoría de las redes de distribución son pasivas, es decir, la energía fluye unidireccionalmente desde el punto de generación de la red hasta el usuario final; el control del voltaje y la frecuencia se llevan a cabo exclusivamente en los puntos de generación y transmisión. Así las cosas, la red de distribución tradicional necesita evolucionar con el fin de facilitar el acceso a puntos de generación distribuidos, y para habilitar la gestión de la demanda local de energía. Igualmente, cuando la red de distribución sea transformada de pasiva a activa, la energía fluirá bidireccionalmente, desde los puntos de generación de la red al usuario final y viceversa; el voltaje y la frecuencia serán monitoreados no solo en los puntos de generación y transmisión, sino también parcialmente por los operadores de distribución, donde dado el caso se tomarán las

medidas correctivas respectivas; y finalmente, gracias a la gestión activa, habrá una capacidad aumentada para integrar la energía solar fotovoltaica, y otras fuentes de energía renovables no convencionales, unidades de almacenamiento, y la posibilidad de aplicar estrategias de gestión energética desde el lado de la demanda (Das et al., 2015).

Además, las redes activas requieren un intercambio de información estructurado y organizado fuera de línea y en tiempo real para su implementación efectiva. Cuando el intercambio de información está habilitado, hay algunos importantes potenciales beneficios que vienen con la implementación de las redes de distribución activa. Primero que todo, ellos pueden permitir la integración de generación distribuida, gestión por parte del usuario y almacenamiento de energía, gracias a su mayor flexibilidad. Segundo, se pueden crear oportunidades para nuevos servicios cuando se lleva a cabo un cambio en la estructura de la red de distribución y el control (Aktas et al., 2017; Das et al., 2015).

Otro beneficio potencial es que la generación de energía y la demanda de los consumidores pueden ajustarse de manera eficiente mediante la implementación de tecnologías de información y comunicación (Emmanuel & Rayudu, 2017). Esto se puede lograr, por ejemplo, mediante el uso de métodos de pronóstico y algoritmos de gestión del lado de la demanda. Además, a diferencia de las redes pasivas, las activas tienen el potencial para respaldar sistemas fotovoltaico independientes ya que la generación está descentralizada y, a menudo, está acoplada con unidades de almacenamiento (Das et al., 2015). Además, la proximidad de los generadores distribuidos al sitio de la demanda hace posible obtener una reducción en las pérdidas relacionadas con el transporte. Finalmente, las redes activas tienen el potencial de brindar soporte a la

red aliviando la congestión y ofreciendo restauración después de fallas, entre otros servicios auxiliares (Das et al., 2015).

El correcto funcionamiento y control de las redes de distribución activas es un gran desafío. Muchos aspectos técnicos necesitan ser estudiados más a fondo para ser implementados. Aquí se pueden mencionar algunos de ellos: Primero, el principal desafío técnico está relacionado con el control de un gran número de generadores distribuidos de energía, tales como sistemas fotovoltaicos, aerogeneradores y los generadores diésel tradicionales. En segundo lugar, se requerirán inversiones sustanciales para hacer que las redes de distribución actuales sean "más inteligentes" y para ofrecer el intercambio de información tanto fuera de línea como en tiempo real (Emmanuel & Rayudu, 2017). Esto significa que la introducción de la automatización del sistema de distribución será gradual.

BIBLIOGRAFÍA.

Aktas, A., Erhan, K., Ozdemir, S., & Ozdemir, E. (2017). Experimental investigation of a new smart energy management algorithm for a hybrid energy storage system in smart grid applications. *Electric Power Systems Research*, 144, 185-196. doi: <https://doi.org/10.1016/j.epsr.2016.11.022>

Bollen, M. H. J., Das, R., Djokic, S., Ciufo, P., Meyer, J., Rönnerberg, S. K., & Zavodam, F. (2017). Power Quality Concerns in Implementing Smart Distribution-Grid Applications. *IEEE Transactions on Smart Grid*, 8(1), 391-399. doi: 10.1109/TSG.2016.2596788

Bruce, P. G. (2008). Energy storage beyond the horizon: Rechargeable lithium batteries. *Solid State Ionics*, 179(21-26), 752-760. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ssi.2008.01.095>

CIGRE. (2009). Global survey on planning and operation of active distribution networks - update of CIGRE C6.11 working group activities.

IET Conference Proceedings, 555-555. <http://digital-library.theiet.org/content/conferences/10.1049/cp.2009.0836>

Commission, E. (2016, 2018). Smart grids and meters. 2016, from <https://ec.europa.eu/energy/en/topics/market-and-consumers/smart-grids-and-meters>

Das, R., Madani, V., Aminifar, F., McDonald, J., Venkata, S. S., Novosel, D., . . . Shahidehpour, M. (2015). Distribution Automation Strategies: Evolution of Technologies and the Business Case. *IEEE Transactions on Smart Grid*, 6(4), 2166-2175. doi: 10.1109/TSG.2014.2368393

Ebina, Y. (2018). International Energy Outlook 2018 Retrieved 28/10/2018, 2018, from <https://www.eia.gov/outlooks/ieo/>

Emmanuel, M., & Rayudu, R. (2017). Evolution of dispatchable photovoltaic system integration with the electric power network for smart grid applications: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 67, 207-224. doi: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.09.010>

EU-Platform. (2006). Smart Grids. 2018, from https://www.earpa.eu/earpa/39/etp_smartgrids.html

González, V. J. (2009). Energías Renovables. In Reverté (Ed.), *Energías renovables*. Barcelona España: Reverté.

Jiayi, H., Chuanwen, J., & Rong, X. (2008). A review on distributed energy resources and MicroGrid. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 12(9), 2472-2483. doi: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2007.06.004>

Lasseter, R. H. (2011). Smart Distribution: Coupled Microgrids. *Proceedings of the IEEE*, 99(6), 1074-1082. doi: 10.1109/JPROC.2011.2114630

Nadia. (2018). CIGRE The World Forum for Power Systems. Retrieved 29/10/2018, 2018

Smets, A., Isabella, O., Jäger, K., Van Swaij, R., & Zeman, M. (2016). *Solar Energy_ The Physics and Engineering of Photovoltaic Conversion, Technologies and Systems*. England: UIT Cambridge Ltd.

Yoldaş, Y., Önen, A., Muyeen, S. M., Vasilakos, A. V., & Alan, İ. (2017). Enhancing smart grid with microgrids: Challenges and opportunities.

Renewable and Sustainable Energy Reviews, 72, 205-214. doi:
<https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.01.064>

Zhu, R., Carne, G. D., Deng, F., & Liserre, M. (2017). Integration of Large Photovoltaic and Wind System by Means of Smart Transformer. IEEE Transactions on Industrial Electronics, 64(11), 8928-8938. doi: 10.1109/TIE.2017.2701758