

PROTOSCOLOS Y TOPOLOGÍAS UTILIZADAS EN LOS SISTEMAS DE COMUNICACIÓN DE LAS MICRORREDES ELÉCTRICAS

Protocols and topologies used in the communication systems of the electric microgrids

ALEJANDRO ARIAS MARTIJEÑA^a, ALEXIS ALEXANDER CASTILLO RUÍZ^b,
ÁNGEL ISAAC ROA ARIAS^c, EZEQUÍAS BIDÓ CUELLO^d,
JAVIER GARCÍA MAIMÓ^e, DEYSLEN MARIANO-HERNÁNDEZ^f
Y MIGUEL EUCLIDES AYBAR MEJÍA^g

Recibido: 8/5/2020 • Aprobado: 1/7/2020

Cómo citar: Aybar Mejía, M., Arias Martijena, A., Castillo Ruíz, A. A., Roa Arias, Ángel I., Bidó Cuello, E., García Maimó, J., & Mariano-Hernández, D. (2021). Protocolos y topologías utilizadas en los sistemas de comunicación de las microrredes eléctricas. *Ciencia, Ingenierías y Aplicaciones*, 4(1), 81-95. DOI: <https://doi.org/10.22206/cyap.2021.v4i1.pp81-95>

Resumen

Las microrredes son sistemas de potencia de baja tensión, que pueden operar en modo aislado o con conexión a la red eléctrica. Estos sistemas cuentan con fuentes de generación distribuida, sistemas de almacenamiento, cargas distribuidas, sistemas de comunicación y sistemas de monitoreo y control. Los sistemas de comunicación implementados en las microrredes son un área de estudio de gran importancia, debido a que para asegurar la continuidad y calidad del servicio eléctrico es necesario que la información de los sistemas se

^a Área de Ingeniería. Instituto Tecnológico de Santo Domingo (INTEC), Santo Domingo, República Dominicana. ORCID: 0000-0002-8555-3530. Correo-e: 1053604@est.intec.edu.do

^b Área de Ingeniería. (INTEC). ORCID: 0000-0002-8583-1465. Correo-e: 1071622@est.intec.edu.do

^c Área de Ingeniería. (INTEC). ORCID: 0000-0002-4380-1348. Correo-e: 1073885@est.intec.edu.do

^d Área de Ingeniería. (INTEC). ORCID: 0000-0001-8692-3524. Correo-e: 1065400@est.intec.edu.do

^e Área de Ciencias Básicas. (INTEC). ORCID: 0000-0003-4594-071X. Correo-e: javier.garcia@intec.edu.do

^f Área de Ingeniería. (INTEC). ORCID: 0000-0002-4255-3450. Correo-e: deyslen.mariano@intec.edu.do

^g Área de Ingeniería. (INTEC). ORCID: 0000-0002-4715-3499. Correo-e: miguel.aybar@intec.edu.do



transmita de manera confiable y rápida. Por esta razón se utilizan diferentes topologías de red y protocolos de comunicación, los cuales tienen distintas ventajas dependiendo su aplicación. Este artículo presenta una revisión de literatura sobre las topologías de red y los protocolos de comunicación utilizados en las microrredes, ventajas y desventajas para cada aplicación, así como los protocolos utilizados por las entidades del sector eléctrico de la República Dominicana.

Palabras clave: microrred; topología de red; protocolo de comunicación; Modbus; DNP3; IEC61850; IEC60870-5.

Abstract

Microgrids are low-voltage power systems, which can operate in isolated mode or with connection to the grid. These systems have distributed generation sources, storage systems, distributed loads, communication systems, and monitoring and control systems. The communication systems implemented in the microgrids are an area of study of great importance since to ensure the continuity and quality of the electrical service the information from the systems must be transmitted reliably and quickly. This is why different network topologies and communication protocols are used, which have different advantages depending on their application. This article presents a literature review on network topologies and communication protocols used in microgrids, advantages, and disadvantages for each application; as well as the protocols used by the entities of the electricity sector of the Dominican Republic.

Keywords: Microgrid; Network topology; Communication protocol; Modbus; DNP3; IEC61850; IEC60870-5.

1. Introducción

La generación distribuida se refiere a la implementación de fuentes de energía cercanas a los consumidores, usualmente conectadas a redes de baja tensión. Desde la década de los 80 se ha vuelto esencial garantizar la continuidad del suministro de energía eléctrica, y con este fin diferentes países empezaron a desarrollar fuentes de energía distribuida dando inicio a una transición hacia un modelo descentralizado de generación y transmisión (Liu, 2015).

Las microrredes son sistemas de potencia individuales, controlables e independientes. Debido a los desafíos enfrentados por los sistemas de potencia en todo el mundo (entre los cuales se pueden mencionar el incremento de la demanda, el deterioro del medio ambiente, la baja eficiencia energética, entre otros), las microrredes han empezado a ser cada vez más utilizadas a nivel mundial puesto que permiten el control de las fuentes de generación distribuida en una manera efectiva y flexible (Fusheng, Ruisheng & Fengquan, 2015). Sin embargo, el aumento del uso de las microrredes a nivel global presenta un desafío adicional, debido a que son sistemas que dependen de un control minucioso de la generación y la demanda, surgiendo la necesidad de tener sistemas de comunicación rápidos, confiables, seguros y flexibles (Marzal, Salas, González-Medina, Garcerá & Figueres, 2018).

La topología de red se refiere a la forma física que esta adoptará, es decir, la forma en que los dispositivos que la conforman se interconectarán (ATIS, 2019a). Un protocolo de comunicación es un conjunto formal de convenciones que gobiernan el formato y control de la interacción entre unidades intercomunicadas. Es decir, es una serie de procedimientos que se adoptan con el fin de facilitar la interoperabilidad de diferentes capas de la jerarquía de comunicación (ATIS, 2019b).

Debido a que existe una diversidad de protocolos disponibles para la adquisición de datos y el control de sistemas de potencia, es necesario conocer las ventajas y desventajas que ofrece cada uno a la hora de seleccionar el protocolo para diferentes aplicaciones, debido a que existen dispositivos cuya interoperabilidad con otras marcas es limitada.

Este artículo presenta una revisión de literatura acerca de las topologías de redes más utilizadas en microrredes a nivel mundial, con el fin de comparar los usos y aplicaciones más adecuados de cada una. Además, se presenta los protocolos de comunicación más utilizados para diferentes aspectos del control de las microrredes.

2. Microrredes Eléctricas

Una microrred consiste en un conjunto de tecnologías de área local dedicadas al suministro de energía distribuida hacia cargas en un pequeño sistema (Liu, 2015). Son capaces de operar de manera independiente de la red eléctrica, como una red a pequeña escala. Típicamente son implementadas en zonas rurales o remotas, donde la conexión a la red eléctrica tiende a presentar desventajas técnicas significativas. En la actualidad, existe un interés creciente por la aplicación de microrredes para aumentar el grado de penetración de fuentes de generación distribuida en sistemas eléctricos convencionales (Hayes, 2017).

Por lo general, las microrredes eléctricas se componen de una fuente de energía distribuida, cargas dispersas en un área relativamente pequeña, un método de almacenamiento de energía y una serie de dispositivos de control intercomunicados, utilizados para la supervisión y maniobras del sistema eléctrico. La generación y el almacenamiento suelen conectarse en paralelo, del lado del usuario (Fusheng et al., 2016).

3. Topologías de Red

Al seleccionar una topología se debe garantizar la operación eficiente y continua de la red, tomando en cuenta futuras expansiones. La topología de red afecta directamente al tráfico y el enrutamiento de datos que circulan dentro de ella. Es importante tener en cuenta que existen factores tales como la complejidad, el costo, la disponibilidad de equipos, el tipo y la cantidad de datos esperados dentro de la red que pueden afectar las topologías de red (Medhi & Ramasamy, 2018). Las topologías de red pueden ser clasificadas en: bus, anillo, estrella, estrella extendida, árbol y malla (Véase figura 1).

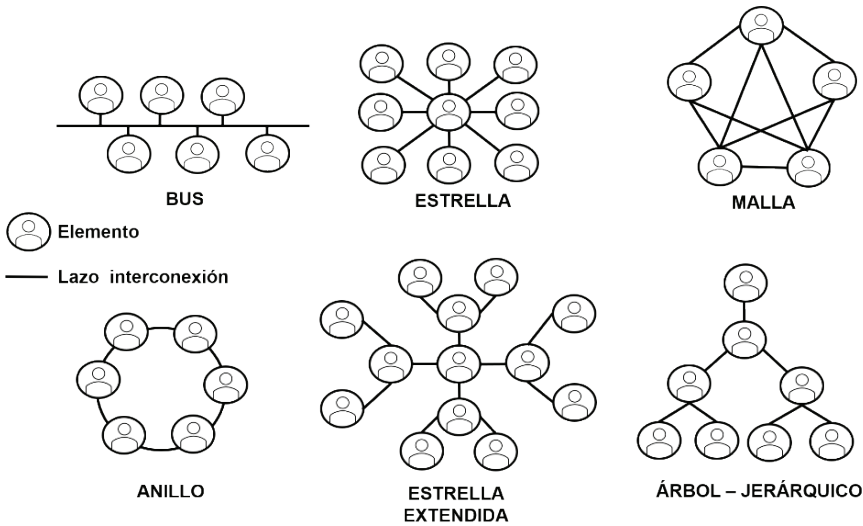


Figura 1. Tipos de topologías de red

3.1 Bus

Todos los nodos se conectan a la misma barra o bus a través de un transceptor, el cual controla la comunicación. Toda la información se envía y se recibe a través del bus y los nodos la rechazan o la reciben dependiendo si les concierne o no (Cerutti, Behredin, Andriolli, Ladouceur & Castoldi, 2016).

3.2 Anillo

Se conectan los nodos uno a continuación de otro, formando un lazo cerrado. Cada nodo posee un transceptor el cual funciona como repetidor y se encarga de pasar la información al nodo siguiente (Yu, Ku & Lin, 2018).

3.3 Estrella

Todos los nodos se conectan a un dispositivo central el cual se encarga de recibir, amplificar y enviar la información a los demás nodos. Esta topología reduce el riesgo de fracaso, pues si uno de los nodos tiene problemas

en el cableado que lo conecta al dispositivo central solo ese nodo se ve afectado y el sistema continúa funcionando con normalidad (Song, Chen, Zhang, Wen & Wei, 2019).

3.4 Árbol

Esta topología tiene la característica de que la información es transmitida de manera jerárquica, por esta misma razón cuenta con nodos principales encargados de transmitir y duplicar la información (Jiguo Yu, Xiuzhen Cheng & Honglu Jiang, 2018).

3.5 Mallada

Es una configuración donde cualquier nodo de la red está conectado a todos los nodos de la red, lo que hace la comunicación más segura, pues elimina las interrupciones, ya que la información puede llegar a cada nodo por muchos caminos distintos (Rachman, Yanti, Jamal & Purwanto, 2018).

4. Protocolos de Comunicación

La efectividad del sistema de comunicación en la microrred está ligada al conjunto de protocolos de comunicación utilizados. Marzal (2018) presenta los parámetros que se utilizan para evaluar la calidad de los protocolos de comunicación en las microrredes como son el ancho de banda usado, la latencia o los requerimientos de retraso de transmisión y recepción de datos, revisión de errores de paquetes de datos, problemas de enrutamiento, sobrecargas de datos, confiabilidad, interoperabilidad, flexibilidad, y cómo estos afectan la calidad del servicio (QoS), la cual debe estar alrededor del 99.999 % en los sistemas de comunicación. Cuando se habla de protocolos de comunicación se trata de una serie de pautas que hacen posible que un conjunto de dispositivos pueda intercambiar datos entre ellos. Es importante destacar que los protocolos, debido a las reglas fijadas en ellos, permiten recuperar datos perdidos en el intercambio. Los protocolos de comunicación más utilizados en sistemas eléctricos de potencia son: Modbus, IEC61850, DNP3, IEC60870-5 (Véase figura 2).

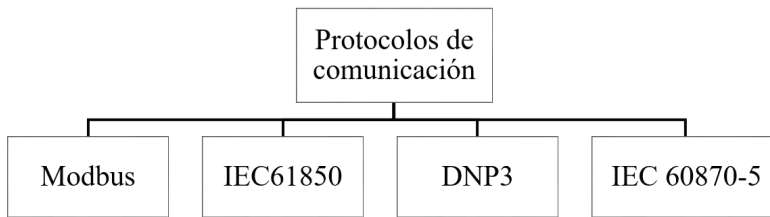


Figura 2. Protocolos de comunicación utilizados en sistemas de potencia

4.1 Modbus

Es utilizado con frecuencia en el sector industrial. Utiliza un método de comunicación serial entre dispositivos electrónicos, el cual no necesita elemento auxiliar para la comunicación y puede comunicarse a distancias mayores de 50 m. Es capaz de establecer comunicación servidor/cliente entre dispositivos inteligentes y es utilizado por su sencillez, bajo costo, muy alta disponibilidad y compatibilidad con TCP/IP (You & Ge, 2019).

4.1 IEC61850

Es aceptado como estándar mundialmente para la comunicación basada en Ethernet en subestaciones, diseñado para trabajar en redes TCP-IP mediante conexiones a red de área local. Logra comunicaciones tanto verticales como horizontales, que son necesarias para un rendimiento óptimo dentro de sistemas de control y adquisición de datos. Además, cumple con los requisitos de confiabilidad, eficiencia, flexibilidad e interoperabilidad, los cuales son esenciales en redes inteligentes (Bani-Ahmed, Weber, Nasiri, & Hosseini, 2014).

Este estándar aprovecha un modelo de datos integral orientado a objetos y la tecnología Ethernet, lo que brinda una gran reducción de los costos de configuración y mantenimiento. Fue introducido en 2004 como estándar de comunicación para automatización de subestaciones (Hussain, Aftab, Ali, & Ustun, 2020). Posee interoperabilidad entre diferentes marcas utilizando modelos estandarizados de datos virtuales y procedimientos de intercambio de datos.

Según Yoo & Shon (2016), entre las principales características del estándar IEC61850 se encuentran:

- Permite al usuario emplear solo un estándar tanto para comunicación entre los dispositivos eléctricos inteligentes como para la adquisición de datos de campo, reemplazando así a otros protocolos como DNP3 e IEC104.
- Crea elementos de datos y servicios que son independientes de los protocolos subyacentes.
- Proporciona un modelo integral de cómo los dispositivos del sistema de alimentación deben organizar los datos de manera coherente en todos los tipos y marcas de dispositivos.
- Comunicación de alta velocidad entre dispositivos electrónicos inteligentes, tiempos de entrega garantizados e interoperabilidad de múltiples proveedores.
- En la tabla 1 se muestran las ventajas y desventajas del protocolo IEC61850 en subestaciones eléctricas y microrredes.

Tabla 1. Ventajas y desventajas IEC 61850

Autores	Ventajas	Desventaja
(Hussain et al., 2020)	Capacidad <i>plug and play</i> , interoperabilidad con dispositivos electrónicos inteligentes	
(Khan & Khan, 2013)	Alta confiabilidad	
(Saleem, Honeth & Nordström, 2010)	Alta flexibilidad	
(Yoo & Shon, 2016)		Vulnerabilidades de seguridad/autenticación en interfaz DNP3-IEC 61850

4.3. DNP3 e IEC60870-5

Es usado principalmente en la industria eléctrica, y está basado en los primeros trabajos de la IEEE. Este protocolo cuenta con la característica de ser abierto, es decir que cualquier fabricante puede desarrollar un equipo que sea compatible con este estándar.

El protocolo DNP3 no cumple de manera estricta con el IEC60870-5, pero tienen suficientes similitudes técnicas y de aplicación como para poder ser agrupados. Una de sus características principales es que posee alta interoperabilidad con dispositivos *plug and play* en sistemas de control y adquisición de datos (Pham et al., 2018).

Es ampliamente usado para la comunicación entre subestaciones. Posee compatibilidad con TCP/IP, lo que significa que no está limitado a la comunicación serial por cable. Además, permite más de un controlador y sus dispositivos pueden reportar datos en caso de eventos. Sin embargo, poseer todas esas funcionalidades lo hace altamente complejo (Yoo & Shon, 2016).

En la tabla 2 se muestran las ventajas y desventajas del protocolo DNP3 en subestaciones eléctricas y microrredes.

Tabla 2. Ventajas y desventajas DNP3

Autores	Ventajas	Desventaja
(Mander , Nabhani, Wang & Cheung, 2007)	Capacidad de ser utilizado con TCP/IP	
Estándar abierto		
(Bani-Ahmed et al., 2014)	Frente a Modbus: tipos de dato estandarizados, información con tiempos, indicadores de calidad de datos	
(Lu, Wang & Ma, 2013)		Diseño complejo, requiere más optimizaciones antes de ser aplicado

5. Sistemas de comunicación en microrredes eléctricas

Para controlar la generación con respecto a la distribución y despejar fallas a tiempo en los sistemas de potencia se necesita de comunicación entre los dispositivos del sistema de potencia (Pérez-Guzmán, Salgueiro, Rivera, Muñoz, Toledo, 2018). Es por esto por lo que las distintas partes del sistema se comunican a través de los protocolos de comunicación.

En la tabla 3 se muestran las aplicaciones más típicas de los protocolos DNP3 e IEC61850 en subestaciones eléctricas y microrredes.

Tabla 3. Aplicaciones DNP3 e IEC 61850

Autores	IEC 61850	DNP3
(Hussain et al., 2020)	Sistemas de gestión energética utilizando vehículos eléctricos y DER como fuentes de potencia en estados de emergencia	.
(Khan & Khan, 2013)	En automatización de subestaciones, cubre casi todos los aspectos de control incluyendo protección en tiempo real y aplicaciones de control de banda ancha. Intercambio de información de estado y eventos en subestaciones	.
(Marzal et al., 2018)	Comunicación entre dispositivos de transmisión, distribución y automatización	.
(Saleem et al., 2010)	Diagnóstico de fallas	Vulnerabilidades de seguridad/autenticación en interfaz DNP3-IEC 61850
(Lu et al., 2013)		Sistema de control y adquisición de datos en tiempo real, transferencia de datos en utilidades

6. Sistemas de comunicación utilizados en la República Dominicana para el control de los servicios eléctricos

De los protocolos de comunicación utilizados en la República Dominicana se encuentran: Modbus, DNP3 e IEC60870-5, los cuales están prácticamente en todos los sistemas actuales de República Dominicana según informaciones del Organismo Coordinador del Sistema Nacional

Interconectado (OC-SENI). Debido a la gran cantidad de sistemas instalados, su inercia es muy grande y es difícil realizar cambios en todo el sistema de circuitos y el sistema de control y adquisición de datos a corto plazo (OC, 2020).

Para obtener la información correspondiente a los protocolos de comunicación utilizados en las empresas de transmisión y distribución de energía eléctrica en la República Dominicana se solicitó a través del Portal Único de Solicitud de Acceso a la Información Pública (SAIP, 2020).

La Empresa de Transmisión Eléctrica Dominicana (ETED) utiliza en su sistema de control y adquisición de datos el protocolo IEC60870-5 para la comunicación entre concentradores de datos en cada subestación y el Centro de Control de Energía (CCE). Las ventajas principales que presenta este protocolo a la empresa es que no requiere de un *software* específico de red; no son necesarias las funcionalidades de *routing*; no es necesaria la gestión de red; y que cualquier cambio en el tipo de red solo requiere un cambio en el tipo de router utilizado, sin afectar la configuración de los sistemas finales. Además, este protocolo establece un canal de comunicación a través de una red estándar, la cual permite que se transmita de manera simultánea a diferentes dispositivos y servicios.

La Empresa Distribuidora de Electricidad del Norte (EDENORTE) utiliza en su sistema de control y adquisición de datos el protocolo DNP3. Entre las ventajas que ofrece el protocolo a la empresa es que es un protocolo abierto que puede ser utilizado por cualquier fabricante, y presenta alta compatibilidad entre distintos equipos. Además, este protocolo usa el modelo TCP/IP para comunicaciones seriales y comunicación en redes IP, facilitando la transferencia de información.

La Empresa Distribuidora de Electricidad del Este (EDEESTE) utiliza el protocolo DNP3 para sus sistemas de control y adquisición de datos, mientras que para la transferencia de datos entre los centros de control en tiempo real se realiza a través del protocolo IEC60870-6, ya que al ser un protocolo abierto le permite hacer modificaciones e integrar nuevas funcionalidades. Además, permite comunicación entre unidades terminales remotas (RTU), maestro a esclavo, *peer-to-peer* y aplicaciones de red.

En la tabla 4 se muestran las respuestas obtenidas por parte de las diferentes entidades contactadas acerca de los protocolos de comunicación más utilizados, así como las ventajas que sustentan su utilización en cada institución.

Tabla 4. Protocolos de comunicación usados en República Dominicana

Institución	Protocolo	Ventajas
OC	Modbus DNP3 IEC 61850	*Compatibles con prácticamente todo el sistema, proveen buena interoperabilidad
EDENorte	DNP3	**Protocolo abierto, alta compatibilidad e interoperabilidad entre diferentes fabricantes, utiliza el modelo TCP/IP
ETED	IEC60870-5	No requiere <i>software</i> propietario, alta flexibilidad, red estándar con acceso a múltiples equipos
EDEEste	DNP3	***Alta flexibilidad e interoperabilidad, proporciona facilidades para control y transferencia de diferentes tipos de datos
EDESur	DNP3 IEC (gama control subestaciones) Modbus	Igual comentario que las indicaciones *, **, ***

7. Conclusiones

Los sistemas de comunicación implementados en las microrredes tienen una gran importancia, y la tendencia actual hacia el uso de fuentes de energía renovables como forma de generación distribuida hace que las topologías y protocolos de comunicación sean vitales para crear un sistema eficiente, seguro y confiable.

En la actualidad, existen diversas topologías y protocolos de comunicación en las microrredes, todas buscan garantizar la operación eficiente y continua de la red. Los protocolos de comunicación más utilizados en microrredes son: DNP3, IEC60870-5 e IEC 61850. Este último es considerado un estándar mundial para la comunicación de subestaciones basadas en Ethernet, mientras que el DNP3 es un protocolo abierto con la capacidad de ser utilizado con TCP/IP, lo cual lo hace altamente flexible y atractivo para aplicaciones que utilizan dispositivos de diversos fabricantes.

Dentro de las topologías de comunicación, la topología de malla se considera la más prometedora para las microrredes debido a su seguridad y excelente confiabilidad para estas.

8. Agradecimientos

Esta investigación fue apoyada por el proyecto FONDOCYT 2018-2019-3C1-160 del Ministerio de Educación Superior, Ciencia y Tecnología (MESCYT).

Referencias

- ATIS. (2019a). *Network Topology – Glossary*. Disponible en <https://glossary.atis.org/glossary/network-topology/>
- ATIS. (2019b). *Protocol – Glossary*. Disponible en <https://glossary.atis.org/glossary/protocol/>
- Bani-Ahmed, A., Weber, L., Nasiri, A., & Hosseini, H. (2014). Microgrid communications: State of the art and future trends. *3rd International Conference on Renewable Energy Research and Applications, ICRERA 2014*, 780–785. Disponible en <https://doi.org/10.1109/ICRERA.2014.7016491>
- Cerutti, I., Behredin, A. M., Andriolli, N., Ladouceur, O. L., & Castoldi, P. (2016). Ring versus bus topology: A network performance comparison of photonic integrated NoC. *2016 18th International Conference on Transparent Optical Networks (ICTON)*, 1–4. Disponible en <https://doi.org/10.1109/ICTON.2016.7550706>
- Fusheng, L., Ruisheng, L., & Fengquan, Z. (2015). Microgrid technology and engineering application. In *Microgrid Technology and Engineering Application*. Elsevier Inc. Disponible en <https://doi.org/10.1016/c2013-0-18521-2>
- Fusheng, L., Ruisheng, L., & Fengquan, Z. (2016). Overview of microgrid. In *Microgrid Technology and Engineering Application* (pp. 1–10). Elsevier. Disponible en <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-803598-6.00001-2>
- Hayes, B. (2017). Distribution Generation Optimization and Energy Management. In *Distributed Generation Systems: Design, Operation and Grid Integration* (pp. 415–451). Elsevier. Disponible en <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-804208-3.00009-1>

- Hussain, S. M. S., Aftab, M. A., Ali, I., & Ustun, T. S. (2020). IEC 61850 based energy management system using plug-in electric vehicles and distributed generators during emergencies. *International Journal of Electrical Power and Energy Systems*, 119, 105873. Disponible en <https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2020.105873>
- Jiguo Yu, Xiuzhen Cheng, Honglu Jiang, & Dongxiao, Y. (2018). *Hierarchical Topology Control for Wireless Networks Theory, Algorithms, and Simulation* (z-lib.org).
- Khan, R. H., & Khan, J. Y. (2013). A comprehensive review of the application characteristics and traffic requirements of a smart grid communications network. In *Computer Networks*, 57(3), 825–845. Disponible en <https://doi.org/10.1016/j.comnet.2012.11.002>
- Liu, Z. (2015). Innovation in Global Energy Interconnection Technologies. In *Global Energy Interconnection* (pp. 239–272). Elsevier. Disponible en <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-804405-6.00006-3>
- Lu, X., Wang, W., & Ma, J. (2013). An empirical study of communication infrastructures towards the smart grid: Design, implementation, and evaluation. *IEEE Transactions on Smart Grid*, 4(1), 170–183. Disponible en <https://doi.org/10.1109/TSG.2012.2225453>
- Mander, T., Nabhani, F., Wang, L., & Cheung, R. (2007). Data object based security for DNP3 over TCP/IP for increased utility commercial aspects security. *2007 IEEE Power Engineering Society General Meeting, PES*, 1–8. Disponible en <https://doi.org/10.1109/PES.2007.386243>
- Marzal, S., Salas, R., González-Medina, R., Garcerá, G., & Figueres, E. (2018). Current challenges and future trends in the field of communication architectures for microgrids. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 82, 3610–3622. Disponible en <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.10.101>
- Medhi, D., & Ramasamy, K. (2018). Networking and Network Routing: An Introduction. In *Network Routing* (pp. 2–29). Elsevier. Disponible en <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-800737-2.00002-8>
- OC. (2020). *Organismo Coordinador - Inicio*.
- Pérez-Guzmán, R. E., Salgueiro, Y., Rivera, M., Muñoz, J., & Toledo, S. (2018). Modelling Communication Network for Intelligent Applications in Microgrids - Part I. *2018 IEEE International Conference*

- on Automation/XXIII Congress of the Chilean Association of Automatic Control (ICA-ACCA)*, 1–6. Disponible en <https://doi.org/10.1109/ICA-ACCA.2018.8609707>
- Pham, B., Huff, C., Vendittis, N., Smit, A., Stinskiy, A., & Chanda, S. (2018). Implementing Distributed Intelligence by Utilizing DNP3 Protocol for Distribution Automation Application. *Proceedings of the IEEE Power Engineering Society Transmission and Distribution Conference, 2018-April*, 1–7. Disponible en <https://doi.org/10.1109/TDC.2018.8440305>
- Rachman, F. Z., Yanti, N., Jamal, N., & Purwanto, E. (2018). Wireless Sensor Network With Mesh Topology To Control Room Devices. *2018 International Conference on Applied Science and Technology (ICAST)*, 5–9. Disponible en <https://doi.org/10.1109/iCAST1.2018.8751589>
- SAIP. (2020). *Portal Único de Solicitud de Acceso a la Información Pública (SAIP)*. 8696.
- Saleem, A., Honeth, N., & Nordström, L. (2010). A case study of multi-agent interoperability in IEC 61850 environments. *IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies Conference Europe, ISGT Europe*, 1–8. Disponible en <https://doi.org/10.1109/ISGTEUROPE.2010.5638876>
- Song, W., Chen, Y., Zhang, Y., Wen, A., & Wei, C. (2019). Start-up and Shut-down Control Scheme of DC Distribution Network based on Star Topology. *2019 IEEE PES GTD Grand International Conference and Exposition Asia (GTD Asia)*, 571–576. Disponible en <https://doi.org/10.1109/GTDAsia.2019.8715896>
- Yoo, H., & Shon, T. (2016). Challenges and research directions for heterogeneous cyber-physical system based on IEC 61850: Vulnerabilities, security requirements, and security architecture. *Future Generation Computer Systems*, 61, 128–136. Disponible en <https://doi.org/10.1016/j.future.2015.09.026>
- You, W., & Ge, H. (2019). Design and Implementation of Modbus Protocol for Intelligent Building Security. *2019 IEEE 19th International Conference on Communication Technology (ICCT)*, 420–423. Disponible en <https://doi.org/10.1109/ICCT46805.2019.8946996>
- Yu, C., Ku, M., & Lin, H. (2018). A Hybrid Mesh-Ring Topology for Bluetooth Networks. *2018 IEEE 5G World Forum (5GWF)*, 520–523. Disponible en <https://doi.org/10.1109/5GWF.2018.8517076>