

# Tecnologías de comunicación para redes de potencia inteligentes de media y alta tensión

N. Poveda D. | C. Medina | M. Zambrano

Facultad de Ingeniería Eléctrica, Universidad Tecnológica de Panamá  
{neyra.poveda, carlos.medina, maytee.zambrano}@utp.ac.pa

**Resumen:** el buen desempeño de una red de potencia inteligente, mejor conocida como Smart Grid, depende del sistema de comunicación empleado, de aquí la importancia de contar con la tecnología apropiada. En este artículo se presentan las tecnologías de comunicación usadas en los entornos de alta y media tensión, y el objetivo principal es documentar las características generales de cada una de ellas, sus aplicaciones, limitaciones y los estándares empleados. Para mayor comprensión, las mismas se han clasificado según su tipo, en cableadas e inalámbricas.

**Palabras claves:** Smart Grid, sistemas de comunicación para redes de potencia inteligentes, alta y media tensión, tecnologías de comunicación cableadas e inalámbricas.

**Title:** Communication technologies for smart power networks of medium and high voltage

**Abstract:** the good performance of an intelligent power grid, better known as Smart Grid, depends on the system of communication, hence the importance of appropriate technology. This article describes the communication technologies used in the high and medium voltage environment and the main objective is to document the general characteristics of each of them, their applications, limitations and standards. For more insight, these have been classified according to their type, in wired and wireless.

**Key words:** Smart Grid, communication systems for smart power networks, high and medium voltage, wired and wireless power communication technologies.

Tipo de Artículo: original

Fecha de recepción: 11 de septiembre de 2014

Fecha de aceptación: 12 de noviembre de 2014

## 1. Introducción

El planeta va en camino a enfrentar una crisis energética, por lo que las medidas que se puedan tomar en la actualidad no se deben hacer esperar, y una de las soluciones a este problema es la implementación de un sistema de distribución eléctrica modernizado,

que permita el manejo eficiente de la energía. Ante esta necesidad, surge Smart Grid, el cual provee de inteligencia al sistema de potencia eléctrico, permitiendo así el manejo eficiente de los sistemas eléctricos en donde se logra la reducción de pérdidas, se identifica y controla el consumo real eficazmente.

El concepto Smart Grid hace referencia a un modernizado sistema de distribución eléctrica que realiza un control automatizado del flujo de energía desde la central generadora hasta los consumidores, proporcionando mayor seguridad, rentabilidad y eficiencia. El mismo se caracteriza por el flujo bidireccional de energía y de información, permitiendo que el usuario interactúe de forma directa con la central generadora. Smart Grid también incluye servicios como el control de electrodomésticos, ahorro de energía y reducción de costos, proveyendo al cliente de herramientas que le ayuden a decidir cómo y cuándo consumir energía de forma responsable. Otro aspecto importante a considerar con la implementación de Smart Grid es la reducción del impacto ambiental, mediante la disminución del desperdicio de energía al proporcionar sólo la energía solicitada; y mediante la incorporación de energía de fuentes alternativas como la energía eólica y la solar.

Las ventajas que ofrece la moderna red de potencia inteligente sólo son posibles si se emplea la tecnología de comunicación adecuada, ya que ésta es la que va a permitir el control del flujo de energía, el control de fallas y la fiabilidad de todo el sistema. Es por ello que esta selección debe hacerse con mucho cuidado, tomando en cuenta su entorno de aplicación y los requisitos de la red, ya que de esto dependerá el buen funcionamiento de todo el sistema de distribución de energía. La importancia de un buen sistema de comunicación para Smart Grid se indica en [1] y [2] y además se explican algunas de las tecnologías aplicadas. Del mismo modo, tomando en cuenta la importancia de un buen sistema de comunicación, en [3] se indican los requisitos que deben cumplir las futuras arquitecturas de comunicación y se propone un modelo llamado Grid Stat (marco de middleware que proporciona una interfaz de programación) para satisfacer las futuras necesidades de la red de distribución eléctrica.



Figura 1. Infraestructura de comunicación de una red inteligente  
\*Figura modificada de la versión original, traducida al español [4].

En la Figura 1 se muestra un diagrama con las partes de una red de energía eléctrica y la red de comunicación asociada. La red de área local en el hogar (HAN) proporciona acceso a los

electrodomésticos y la red de área amplia (WAN) conecta el centro de generación de energía, el centro de transmisión, y el centro de control. En este artículo se hace referencia a la red de distribución eléctrica en el área de cobertura WAN, brindando información sobre las tecnologías de comunicación empleadas y los estándares que las regulan. La tecnología de comunicación empleada dependerá del área de cobertura de la red.

A continuación se explican las tecnologías de comunicación implementadas en alta y media tensión, clasificando éstas de acuerdo a su tipo en cableadas o inalámbricas. Cada una de estas tecnologías son explicadas tomando en cuenta sus aplicaciones más importantes, y las limitaciones presentadas dependiendo de su área de cobertura y la vulnerabilidad a las ondas electromagnéticas a las que están expuestas.

### 2. Tecnologías de comunicación implementadas en Smart Grid

El empleo de las primeras tecnologías de comunicación inalámbricas, en el contexto de redes inteligentes, se presentan en [5], con el propósito de apoyar las necesidades de tráfico de las líneas de transmisión. Luego se realizaron propuestas para apoyar la transmisión con pocas pérdidas a través de la red bajo el estándar IEEE 802.21 (el cual proporciona la información que hace posible la transferencia de datos entre dos estaciones base). Posteriormente, se continúan implementando otros estándares que permiten la integración de aplicaciones, técnicas y soluciones tecnológicas que están disponibles para la red de potencia inteligente pero que carecen de normas ampliamente aceptadas, en [6] se explican algunos de estos estándares.

Otro aspecto importante que se debe tomar en cuenta para la selección de la tecnología de comunicación apropiada en los entornos de alta y media tensión, es que la infraestructura de comunicación en Smart Grid está compuesta por tres sectores de red: núcleo (backbone), media milla, última milla.

El núcleo, corresponde al sector de alta tensión en la red de distribución eléctrica. Soporta la conexión entre numerosas subestaciones y distribuidoras. Cubre una red de área amplia (WAN) y requiere gran capacidad de ancho de banda para la transferencia de datos. Esta red es por lo general de fibra óptica, aunque también puede utilizarse Ethernet, PLC, comunicación satelital, etc.

El sector de media milla, corresponde al área de media tensión en la red de distribución eléctrica. Conecta la infraestructura de medición avanzada (AMI) con las subestaciones y sistemas de distribución. Incluye la tecnología WiMAX, LTE, 3G, fibra óptica, PLC, etc.

Sector de última milla, corresponde al área de baja tensión e incluye las regiones de red que interconectan los hogares presentes en un área (NAN), HAN y AMI. Una variedad de tecnologías cableadas e inalámbricas se pueden implementar en este sector [4].

A continuación se explican las tecnologías de comunicación más utilizadas en los sectores de alta y media tensión.

### 3. Tecnologías inalámbricas

Las tecnologías de comunicación inalámbricas se han desarrollado

para la transferencia de datos entre dos o más puntos sin la necesidad de contar con una infraestructura física entre ellas. Además, tiene varias ventajas, como su bajo costo de implementación, despliegues rápidos y movilidad, que las hacen muy atractivas para su uso en redes de potencia inteligentes. Sin embargo, éstas deben enfrentar algunos desafíos para su implementación en Smart Grid, como resistencia a las interferencias electromagnéticas [1].

#### A. LAN inalámbrica

Proporciona una comunicación de punto a punto y punto a multipunto de alta velocidad. Esta tecnología se adoptó bajo el estándar IEEE 802.11 (WiFi), el cual permite que varios usuarios ocupen la misma banda de frecuencias con mínima interferencia entre ellos

Las diversas versiones del estándar 802.11 son: IEEE 802.11b, 802.11a, 802.11g, 802.11n y 802.11i, los cuales presentan velocidades de datos desde los 11 Mbps a los 600 Mbps aproximadamente, en las bandas de frecuencia de 2.4 GHz y 5.8 GHz. Emplean las técnicas de modulación DSSS y OFDM. Además el 802.11i conocido como WPA-2 es empleado para mejorar la seguridad cibernética en las redes LAN inalámbricas.

WiFi permite muchas aplicaciones dentro del contexto de Smart Grid, como automatización, protección y control de recursos. Entre las aplicaciones más destacadas basadas en la norma IEC 61850, explicada en [6], se encuentran: fortalecimiento de la protección del transformador, enlace redundante para el sistema de distribución automatizado, protección de línea eléctrica, y control y seguimiento de fuentes de energía renovables remotas.

Por otra parte, esta tecnología presenta algunas limitaciones como: mala disponibilidad de la señal inalámbrica, se ve afectada por las radiaciones electromagnéticas en lugares de alta tensión y no menos importante, las interferencias ocasionadas por las frecuencias de radio que afectan el funcionamiento de los equipos.

#### B. WiMAX

Una red WiMAX proporciona un ancho de banda de 5 MHz con una velocidad de hasta 70 Mbps a una distancia de 48 Km. Para la comunicación en bandas fijas se han asignado las bandas de frecuencia de 3.5 y 5.8 GHz, mientras que para la comunicación móvil se han asignado las bandas de 2.3, 2.5 y 3.5 GHz. Los espectros con licencias brindan mayor potencia y distancia de transmisión, lo que los hace más adecuado para la comunicación a larga distancia. Está regido por la norma IEEE 802.16d (fijo) y 802.16e (datos móviles). WiMAX ofrece una serie de capacidades, además de su excelente latencia, que hacen de esta tecnología una buena opción para el control de aplicaciones Smart Grid. Posee modulación adaptativa y control de potencia. Igualmente, la red WiMAX permite a un operador priorizar el tráfico de datos mediante lo que se le conoce como calidad de servicio QoS.

Las aplicaciones que proporciona WiMAX en el contexto de redes inteligentes, como se indica en [1], son:

- Redes inalámbricas de lectura automática (WMAR), gracias a la gran cobertura y altas velocidades que presenta.

- Proporciona los precios en tiempo real a los consumidores conectados a la red de distribución eléctrica gracias a su buena latencia [2].
- Detección de interrupción y restauración.

Las limitaciones que presentan la implementación de una red WiMAX son:

- El costo de la construcción de una torre para WiMAX es relativamente alto, ya que ésta debe hacerse de manera óptima para cumplir con la calidad de servicio.
- Las frecuencias por encima de 10 GHz no pueden penetrar a través de obstáculos.

### C. Tecnología celular

Es una red de radio distribuida en una extensa zona terrestre, atendida por un transceptor con una ubicación fija conocida como estación base. Incluye la tecnología 3G y 4G que operan en el rango de 824-894 MHz y 1900 MHz. Los sistemas de comunicación celular son rápidos y baratos y permiten una cobertura de comunicaciones de datos sobre una gran área geográfica. La velocidad de transferencia de datos es de 60-240 Kbps, y la distancia depende de la disponibilidad del servicio celular. La transmisión de datos se intercambia entre célula y célula facilitando el flujo de datos ininterrumpido. La ventaja que ofrece la tecnología celular, es que la infraestructura ya está instalada, por lo que se puede hacer uso de ésta para su implementación. Además, con el reciente crecimiento de la tecnología celular 3G y 4G, la velocidad de datos y la calidad de experiencia (QoE) han mejorado mucho.

Las siguientes aplicaciones de la tecnología celular son orientadas a Smart Grid: interfaz SCADA (control de supervisión y adquisición de datos) para la subestación de distribución remota gracias a la gran cobertura que ofrece y seguimiento y medición de fuentes de energía renovables remotas.

Una limitación importante de la tecnología celular es que el establecimiento de la comunicación, por lo general, toma tiempo y la comunicación de datos no es priorizada en caso de eventos especiales.

### D. Comunicación satelital

Proporciona la comunicación entre múltiples estaciones terrenas, al permitir el acceso a lugares remotos. Este tipo de comunicación funciona como una repetidora ya que posee la capacidad de recibir y retransmitir información por medio de un dispositivo receptor/transmisor, llamado transpondedor. Emplea frecuencias diferentes para la recepción y la retransmisión con el propósito de que no se den interferencias entre las señales.

Entre las aplicaciones de esta tecnología para Smart Grid están:

- Control y monitoreo remoto, ya que permite una cobertura global. Esto se debe a que en algunos lugares no existe una infraestructura de comunicación por su ubicación lejana.
- Integración de los generadores de energía renovable que por lo general se encuentran apartados.
- Copia de seguridad cuando las infraestructuras de comunicación terrenas se ven afectadas por algún tipo de desastre naturales o

fallas en el sistema.

La comunicación satelital también presenta algunas limitaciones como:

- Los sistemas satelitales poseen un retardo mayor que los otros sistemas de comunicación.
- Las características del canal se ven afectadas por las condiciones meteorológicas.
- Los altos costos asociados a esta tecnología.

### 4. Tecnologías cableadas

Además de las tecnologías inalámbricas, también se cuenta con tecnologías cableadas, las cuales también poseen ventajas importantes como mayor velocidad de transmisión a grandes distancias e inmunidad frente a interferencias electromagnéticas. Estas ventajas convierten a esta tecnología en una buena opción para su uso en redes de potencia inteligentes de alta y media tensión.

#### A. Fibra óptica

La fibra óptica presenta importantes características que la hacen ser de uso imprescindible en el entorno de alta tensión, como: su gran capacidad de ancho de banda y su alta inmunidad a las interferencias electromagnéticas y a las radiofrecuencias. La utilización de diferentes longitudes de onda para el tráfico simultaneo ascendente y descendente permite una gran flexibilidad en el enrutamiento y conmutación de señales ópticas. Es por esto que la fibra óptica juega un papel muy importante en los sistemas de comunicación de Smart Grid.

Un aspecto muy importante en las redes inteligentes, es el uso de una infraestructura de comunicación con características de latencia excepcionalmente reducidas. La latencia máxima permitida en un sistema de comunicación para Smart Grid es de 6 ciclos, o 100 ms. Por tanto, la red de comunicaciones que soporta estos escenarios debe respetar estrictamente esta limitación de latencia. La latencia que presenta la fibra óptica es menor de 5 ms por kilómetro de longitud.

Aunque el costo de la instalación de fibras ópticas presenta una limitación, su infraestructura de comunicación es muy rentable gracias a sus características, lo que hace de ésta una buena opción en el entorno de alta y media tensión en donde las distancias son mayores y las radiaciones electromagnéticas más intensas.

#### B. PLC (Power Line Communication)

La comunicación por líneas eléctricas es una vieja idea que se remonta a principios de 1900, cuando las primeras patentes fueron presentadas en este ámbito. Desde entonces, las empresas de servicios públicos de todo el mundo han estado utilizando esta tecnología para la medición remota y control de carga. PLC es una tecnología para el transporte de datos a través de un conductor utilizado para la transmisión de energía eléctrica, regulado bajo el estándar IEEE P1901.2 y ITU-T G.hnem [6].

En Smart Grid se pueden emplear muchos tipos de tecnologías para la comunicación pero PLC es la única que ofrece un costo menor en cuanto a la infraestructura ya que las líneas ya están disponibles.

Además, otra ventaja del uso de PLC es que permite la comunicación entre los dispositivos de distintas instalaciones eléctricas sólo conectándose al tomacorriente.

Desafortunadamente, PLC también lucha con los problemas de atenuación, ruido y distorsión que se encuentran en comunicaciones de RF (radio frecuencias) cuando se comunica a través del cableado de energía eléctrica ya que la línea de alimentación no se diseñó en su principio para la transmisión de datos, en [7] se describen las siguientes limitaciones que se deben tomar en cuenta:

- La variación de la impedancia y la condición de canal.
- Ruido blanco en la naturaleza.
- Atenuación correspondiente a la frecuencia utilizada.
- Cambio de fase (de monofásico a trifásico y viceversa) entre arquitecturas interiores y exteriores.

A continuación se explicarán las aplicaciones más destacadas de PLC en la red inteligente, en los niveles de alta y media tensión.

**Alta Tensión:** Las tecnologías PLC que operan a través de líneas de alta tensión de CA y CC de hasta 1.100 KV en la banda de 40-500 KHz permiten velocidades de datos de unos pocos cientos de Kpbs y juegan un papel importante en las redes de alta tensión debido a su alta fiabilidad, bajo costo y largo alcance [7].

El ruido que se presenta en una línea de transmisión de alta tensión es causado principalmente por el efecto corona (fenómeno eléctrico que se produce en los conductores de las líneas de alta tensión y se manifiesta en forma de halo luminoso a su alrededor) y otros eventos de fuga o de descarga. En comparación con las líneas de medio y bajo voltaje, las líneas de alta tensión son un mejor medio de comunicación que se caracteriza por una baja atenuación.

PLC además de proporcionar conectividad, también se utilizan para la detección de averías remotas como detección de aislante roto, aislador de cortocircuito y rotura del cable; y para determinar el cambio en la altura sobre el suelo de conductores aéreos horizontales de alta tensión.

**Media Tensión:** Un aspecto importante para el futuro de las redes inteligentes es la capacidad de transferir datos sobre el estado de la red de media tensión donde la información de los equipos y de las condiciones del flujo de potencia debe ser transmitida entre las subestaciones dentro de la red. Los materiales empleados en la construcción de la infraestructura de la red de media tensión son de hace muchos años, por lo que la detección de averías y la vigilancia se han convertido en un aspecto muy importante hoy en día.

Algunas aplicaciones de la comunicación por líneas de media tensión son:

- Control remoto para la prevención de fenómenos de islas.
- Verificación de la temperatura de los transformadores.
- Control de la tensión en el secundario de los transformadores.
- Encuestas de fallas.
- Medición de calidad de energía.

## 5. Conclusión

En los entornos de alta y media tensión, los requerimientos de los sistemas de comunicación son más exigentes debido al área de cobertura y las interferencias electromagnéticas. Conocer los tipos de

tecnologías disponibles, así como las aplicaciones y limitaciones que presentan cada una, ayudan a realizar una comparación equitativa para la selección de la mejor tecnología dependiendo del lugar de aplicación.

Además de las tecnologías explicadas, se espera que se implemente la comunicación por protocolo IP a redes de potencia inteligentes, superando ciertas limitaciones por medio de Middleware y QoS, por lo que se recomienda ampliar sobre este tema en artículos futuros.

## Referencias

- [1] P. Parikh, M. Kanabar, T. Sidhu, "Opportunities and challenges of wireless communication technologies for smart grid applications," *IEEE Power and Energy Society General Meeting*, pp.1-7, 25-29, July 2010
- [2] V.Sood, D. Fischer, J. Eklund, T. Brown, "Developing a communication infrastructure for the Smart Grid," *IEEE Electrical Power & Energy Conference*, pp.1-7, 22-23 Oct. 2009
- [3] C. Hauser, D. Bakken, A. Bose, "A failure to communicate: next generation communication requirements, technologies, and architecture for the electric power grid," *IEEE Power and Energy Magazine*, vol.3, no.2, pp.47-55, March-April 2005
- [4] R. Amin, J. Martin, X. Zhou, "Smart Grid communication using next generation heterogeneous wireless networks," *IEEE Third International Conference*, pp.229-234, 5-8 Nov. 2012
- [5] K. Hung, W. Lee, V. Li, K. Lui, P. Pong, K. Wong, G. Yang, J. Zhong, "On Wireless Sensors Communication for Overhead Transmission Line Monitoring in Power Delivery Systems," *Smart Grid Communications (SmartGridComm), First IEEE International Conference*, pp.309-314, 4-6 Oct. 2010
- [6] V. Gungor, D. Sahin, T. Kocak, S. Ergut, C. Buccella, C. Cecati, G. Hancke, "Smart Grid Technologies: Communication Technologies and Standards," *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, vol.7, no.4, pp.529-539, Nov. 2011
- [7] S. Galli, A. Scaglione, Z. Wang, "For the Grid and Through the Grid: The Role of Power Line Communications in the Smart Grid," *Proceedings of the IEEE Communications Surveys*, vol.99, no.6, pp.998-1027, June 2011
- [8] X. Fang, S. Misra, G. Xue, D. Yang, "Smart Grid, The New and Improved Power Grid: A Survey," *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, vol.14, no.4, pp.944-980, Fourth Quarter 2012
- [9] C.H. Lo, N. Ansari, "The Progressive Smart Grid System from Both Power and Communications Aspects," *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, vol.14, no.3, pp.799-821, Third Quarter 2012
- [10] A. Zaballos, A. Vallejo, J. Selga, "Heterogeneous communication architecture for the smart grid," *IEEE Network*, vol.25, no.5, pp.30-37, September-October 2011