

# Automatización (SCADA y Gestión) de 150 IED SEL y 150 Reconectores de Pequeñas Subestaciones de Distribución Energía de EPM utilizando GPRS/3G

Juan Esteban Hoyos Pareja, Rafael Luna Uribe, Alejandro Vélez Vieira / EPM  
COLOMBIA  
juan .hoyos@epm.com.co

**II Seminario Internacional: Mantenimiento en Sistemas Eléctricos – SIMSE 2009**  
**29 de setiembre al 2 de octubre de 2009**  
**Bogotá, Colombia**

## ÍNDICE

### INTRODUCCIÓN

### EL FUNCIONAMIENTO DE LA RED GPRS

### DISPONIBILIDAD DE LA RED GPRS

### CONEXIÓN A LA RED GPRS

### PROYECTO DE IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA GPRS PARA LA RED DE DISTRIBUCIÓN

### COSTOS DE IMPLEMENTACIÓN

### RECOMENDACIONES

### TENDENCIAS EN COMUNICACIÓN

### BIBLIOGRAFÍA

*Resumen:* Hoy en día Empresas Públicas de Medellín cuenta con aproximadamente 120 subestaciones de energía donde aproximadamente el 50% están interconectadas y telecontroladas desde un único sistema SCADA, gran parte de las subestaciones que no han sido integradas este sistema ya que, son subestaciones de media y baja tensión que se encuentran desatendidas en áreas rurales. Varios estudios anteriores a este proyecto mostraban que no era posible sido posible equiparlas con un sistema de comunicación y telecontrol remoto, ya que los análisis de la relación costo beneficio eran resultados negativos.

La falta de canales de de comunicación en los cuales la relación costo-beneficio sea viable y que se conjuguen tres grandes elementos de las comunicaciones: ancho de banda, disponibilidad y seguridad ha dificultado integrar dichas subestaciones al SCADA durante varios años. Tecnologías WAN como GPRS y luego UMTS/3G, pueden ser la solución a algunos de éstos problemas pero antes hay que tener algunas consideraciones y restricciones para poder seguir manteniendo los niveles de costo-beneficio.

Gracias a los avances de la tecnología disponible y sus bajos costos de adquisición se pueden reevaluar, en muchas subestaciones, la posibilidad de integrarlas al SCADA por medios de comunicación alternativos como lo es GPRS, los cuales tienen una disponibilidad y confiabilidad inferior a la de una fibra óptica, pero pueden ser de gran ayuda para operar un sistema Eléctrico con muchas características de ruralidad. Establecer un medio de comunicación vía GPRS nos puede resolver además el problema de la gestión remota de los IEDs, funcionalidad indispensable para el mantenimiento, operación y configuración de todos los equipos de la red.

Con frecuencia se requiere que los equipos instalados en la red de distribución, como las subestaciones ubicadas en áreas rurales, sean interconectadas al SCADA central con el fin de mejorar la calidad en la prestación del servicio de energía eléctrica como también obtener la información necesaria y operar la red de una forma segura y confiable.

Este artículo pretende ilustrar el funcionamiento de la tecnología GPRS para automotización de subestaciones del mercado regional, descripción de las pruebas realizadas, que equipos se han utilizado y dar algunas recomendaciones de uso.

## Introducción

Durante varios años el proceso de telecontrol se ha enfocado a automatizar las subestaciones que contienen líneas de transmisión o subestaciones que por su importancia, sea geográfica o por su capacidad en MW, son vitales para mantener el sistema eléctrico en perfecto funcionamiento.

Con la implementación del servicio eléctrico en áreas rurales retiradas de los cascos urbanos a incrementado los costos de mantenimiento de la infraestructura. La necesidad de mejorar los niveles de servicio, han llevado a las empresas del sector eléctrico a involucrarse en la búsqueda de procedimientos que brinden una reducción de costos, disminuyan los tiempos de interrupción de servicio como también los tiempos de reparación y puesta en servicio, y que a su vez aumente la productividad de los recursos humanos disponibles.

Para que todo esto sea posible, es necesario que las subestaciones ubicadas en áreas rurales ó equipos de control instalados en la red de distribución estén dotadas de un sistema de comunicación que sea seguro, con alta disponibilidad y el ancho de banda suficiente para realizar las funciones de operación y mantenimiento remoto.

Las comunicaciones LAN/WAN basadas en Ethernet y TCP/IP son ahora comunes para comunicar subestaciones y centros de control y usualmente requieren un medio con comunicación permanente, lo cual complica la implementación de sistemas por llamadas a través de la PSTN. Cada estación debe de estar en la capacidad de enviar datos en tiempo real al Centro de Control.

Implementar una infraestructura de comunicaciones integradas es un componente esencial para el desarrollo de una red moderna, ya que por medio de éstas se logra una infraestructura dinámica que provee información en tiempo real. También permite integrar varios IEDs (Intelligent Electronic Devices), tales como medidores inteligentes, centros de control, PLC (Programable Logic Controller), equipos de protección, los cuales pueden interactúa de forma natural con el resto de usuarios de la red.

Los estándares universales de comunicación como los son las redes TCP/IP, han llevado a surgimiento del protocolos IEC 61850 que está especializado para la infraestructura eléctrica, siendo el más ocionado para convertirse en un verdadero

estándar, como lo observamos en la siguiente figura 1 obtenida de Newton Evans Research, donde se observa que el protocolo IEC 61850 es el que más se va a implementar en el periodo 2007-2011, seguido muy de cerca por las tecnologías TCP/IP, es de aclarar que el DNP 3.0 LAN y el IEC 61850 son tecnologías basadas en TCP/IP.

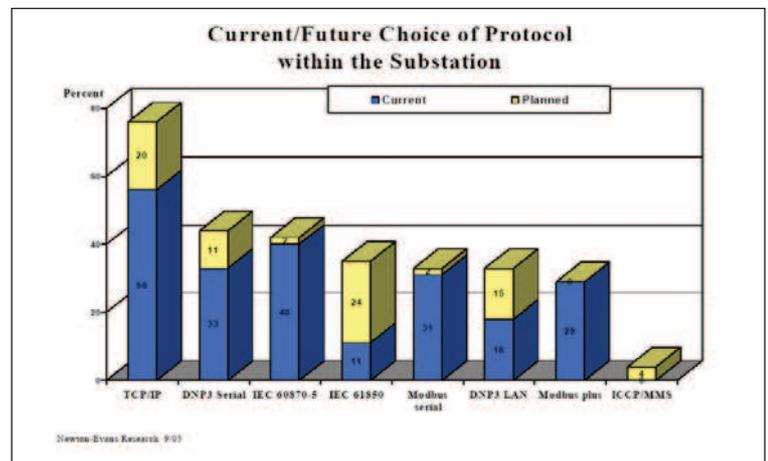


Figura 1. Presente/Futuro Selección de Protocolos Dentro de la Subestación

## El funcionamiento de la red GPRS

General Packet Radio Service o GPRS es una tecnología digital de telefonía móvil. Es considerada la generación 2.5, entre la segunda generación (GSM) y la tercera (UMTS). Proporciona altas velocidades de transferencia de datos (especialmente útil para conectar a Internet) y se utiliza en las redes GSM.

GPRS es sólo una modificación de la forma de transmitir datos en una red GSM, pasando de la conmutación de circuitos en GSM (donde el circuito está permanentemente reservado mientras dure la comunicación aunque no se envíe información en un momento dado) a la conmutación de paquetes.

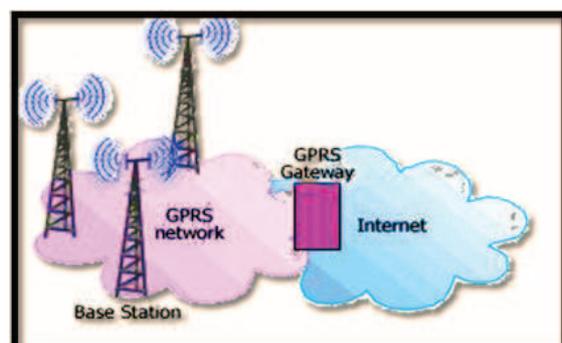


Figura 2

Los canales RX y TX operan en un modo full dúplex con 8 ranuras de tiempo o time-slots. Estas ranuras de tiempo son negociadas entre la unidad móvil y la red del proveedor de servicios celulares, dependiendo de la congestión de la red en momentos de demanda pico, puede ocurrir que no hallan ranuras de tiempo disponibles para GPRS, por lo que la conectividad se pierde por aproximadamente un minuto o más.

Esta es la razón de no usar GPRS para interconectar subestaciones importantes, como también la de no implementar la función de cargar remotamente parámetros de configuración en las cuales la pérdida de conectividad puede traer como consecuencia la pérdida de datos. En comparación a las conexiones clásicas tipo dial-up o marcado telefónico, GPRS ofrece la posibilidad que la subestación esté directamente conectada al centro de control sin la necesidad de un servidor front-end encargado de realizar el polling de las llamadas por dial-up. La tecnología GPRS posibilita enviar y recibir mensajes espontáneos.

A pesar de estos inconvenientes, Walter K. Eichelburg en su artículo *Distributed Wireless Automation Using GPRS/3G* (2007) establece que en Alemania, la disponibilidad por subestación es aproximadamente del 99% lo cual es suficiente para pequeñas subestaciones.

El fabricante de modem GPRS con el cual funcionó el piloto fue YXwireless una empresa de origen Chileno con proyección internacional en la comercialización de sus productos.

## Disponibilidad de la red GPRS

Muchas de las dudas que surgen cuando se pretende instalar un sistema de comunicaciones el cual es administrado por un agente externo a la empresa surgen preguntas tales como: Que pasa cuando hay una falla en la red de potencia? ya que en estos momentos es cuando más necesito que la red de telecontrol funcione correctamente o que pasa cuando hay un evento como festividades de la región donde se incrementa el uso de la telefonía celular? Puede colapsar el sistema de comunicación?.

Para dar respuesta a la primera pregunta, es necesario indagar del proveedor de servicios GSM/GPRS, si las BSS, Base Station Subsystem tienen la capacidad de trabajar durante aproximadamente 3 días desde el momento en que ocu-

rre evento por medio de una planta de energía ya sean a Diesel o Gasolina.

En el caso que ocurra congestión de usuarios, es el elemento más limitante del uso de la tecnología GPRS para procesos de control. La tecnología ha sido diseñada para trabajar a una velocidad de acceso medio-bajo para dispositivos como PDAs, portátiles, Celulares etc.

Los datos transmitidos por GPRS comparten la red con las llamadas de teléfonos celulares sobre GSM, por tal motivo es necesario alguna priorización, desafortunadamente, la mayor parte de los proveedores de servicio GPRS, le dan la mayor prioridad al servicio telefónico. Este punto es de gran importancia y se debe buscar que los proveedores de servicio celular puedan ofrecer varios mecanismos para establecer la prioridad de los datos transmitidos por la red.

## Conexión a la red GPRS

La mayoría de proveedores de la tecnología GPRS, asignan una APN para diferenciar los servicios ofrecidos como las redes que tienen dentro de su dominio. Una APN o Access Point Name es el nombre de un punto de acceso para GPRS a configurar en el dispositivo celular para que pueda acceder a Internet o a la red privada de la empresa. Los APN pueden ser variados y son usados en redes tanto Públicas como Privadas.

El nombre del APN es determinado en conjunto con el proveedor de servicios. Dentro de la APN configurada por el proveedor se establecen los rangos de direcciones IP estáticas que se desean utilizar para poder establecer un enlace LAN-to-LAN entre la red GPRS y la red de la empresa.

A diferencia de otros proyectos GPRS llevado a cabo por varias empresas del sector eléctrico en el cual usan un modem GPRS como "marcador", el cual se encarga de realizar llamadas a cada una de los modem remotos y establecer una comunicación, éste proyecto busca establecer una conexión sobre un esquema LAN-to-LAN, para lo cual es necesario que los equipos terminales, modem GPRS o routers puedan realizar Network Address Translation (NAT) y conectarse automáticamente a la RED GPRS del operador. Como resultado cada equipo en la Subestación obtiene una dirección IP arreglada dentro del rango de direcciones accesible desde el Centro de Control.

La conexión entre el proveedor de servicio y la empresa se realiza por medio de un enlace VPN *Virtual Private Network*, con el fin de garantizar la seguridad de la información transmitida a través de la red pública. Como se muestra en la figura 3.

### Proyecto implementación de un sistema GPRS para la red de distribución

El primer acercamiento a la tecnología GPRS para comprobar su funcionamiento en las redes de distribución energía e instalar 4 equipos ubicados en diferentes sectores del departamento con el fin de poder realizar maniobras de operación, abrir cerrar interruptores, como también proveer de datos confiables el sistema de control pérdidas energía. Por otro lado se espera que por el mismo medio podamos obtener los datos de calidad de la potencia para SE donde no se tiene ningún otro medio.

En un principio se tuvieron muchas dificultades en comprender el funcionamiento de la red y cómo realizar un enlace económico y seguro. Luego que se estableció el canal de comunicaciones entre el operador y la empresa se comenzó a probar la estabilidad de la conexión.

Después realizar varias pruebas en diversas subestaciones, llegamos a la conclusión que los módems con los que estábamos tratando de realizar la integración la funcionalidad de reconectar automáticamente a la red GPRS después de perder el enlace, no funcionaba correctamente, traduciéndose a intermitencias y paro de funcionamiento. Obligando a reiniciar el modem de una forma manual.

Se decidió probar con otra marca de módems, para ver si el problema era del modem o del proveedor de servicios. Durante varios días se sostuvo una comunicación estable con el equipo, esto nos ayudó a corroborar que el problema residía en el firmware instalado en el modem.

Estos inconvenientes con los módems causó varios retrasos en los planes de la implementación del proyecto GPRS y modificación de los plazos, hasta el día de hoy solo se ha podido establecer comunicación permanente con 2 subestaciones de una forma simultánea.

Se espera en los próximos días la adquisición de nuevos modem GPRS, y nuevos planes de datos para poder realizar pruebas contundentes de las funcionalidades y riesgos que puede conllevar la implementación de esta tecnología.

Los consumos promedios en MB para un IED de distribución el cual es interrogado cada 5 segundos preguntas clase 1/2/3 y cada hora se le hace una pregunta clase 0/1/2/3, que corresponde a una Interrogación General del IED, es de aproximadamente 1MB transmitidos durante 24h. Entonces si en una subestación tengo 10 IED el consumo mensual es de 300MB.

Uno de los principales problemas obtenidos fue la puesta a punto los módems GPRS para que mantuvieran la conexión el mayor tiempo posible y no fuera necesario reiniciarlos en el sitio. Como también lo fue la creación de la APN y la VPN entre el operador celular y la empresa.

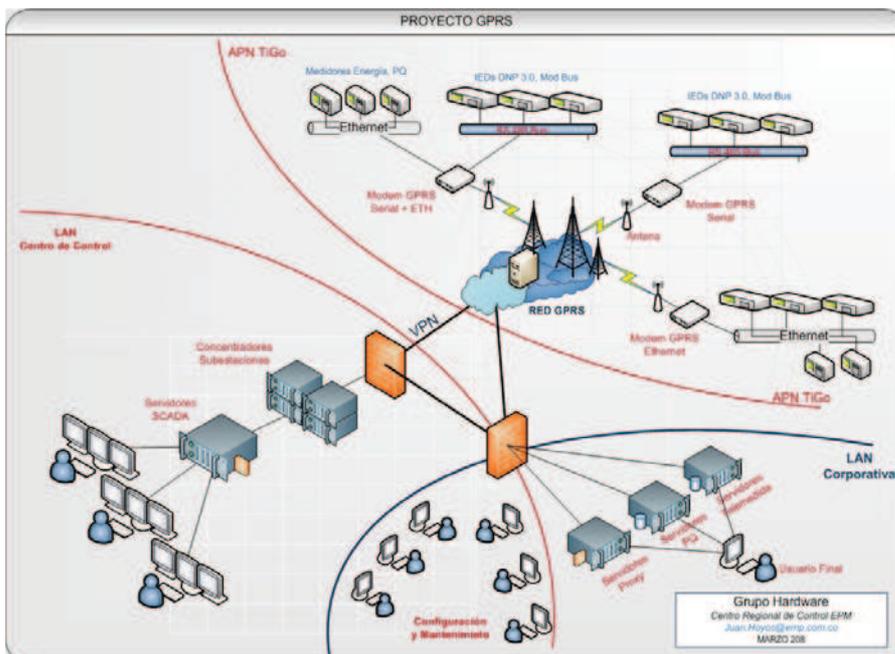


Figura 3. Grupo Hardware Centro Regional de Control EPM

**Este proyecto se puede ver replicado de forma similar para aplicaciones de Tele-medida en Energía, Agua y Gas, calidad de la potencia, control perdidas energía, mantenimiento equipos, control de luminarias etc.**

### Que beneficios se ESPERAN del sistema

- 1) Reducción número de dispositivos requeridos para la automatización.
- 2) Disminución de costos, el tamaño físico de la instalación, cableado, tiempos de instalación y mejora las labores de ingeniería y mantenimiento.
- 3) Tiempos más cortos de recuperación del sistema eléctrico después de eventos.
- 4) Mejor utilización de la plataforma instalada.
- 5) Simplificar el diseño, velocidad de implementación y facilidad de replicar en varias subestaciones.
- 6) Eliminar los problemas de integración
- 7) Reducir el número de aplicaciones de SCADA y unificar todo el control en una sola plataforma de operación.
- 8) Realizar parametrización remota de los equipos instalados en las SE.
- 9) Reducir las pérdidas de energía.

**Para continuar con el proyecto se recomienda definir un alcance formal en el cual se identifiquen los recursos y sus responsabilidades para realizar un piloto con un mayor número de subestaciones o reconvertidores.**

### Costos de implementación

Los costos son una de las razones más importantes por las cuales los proyectos salen adelante o se dan desiertos, si los costos mensuales de la conexión GPRS exceden el presupuesto designado, a largo tiempo se convierte en una inversión no rentable, que conllevaría a seguir operando y manteniendo la subestación como en el pasado.

Con la mayoría de los proveedores GPRS, los costos de la solución, en el caso de comprar planes de datos limitados, depende de 2 factores:

- Un plan mensual de datos el cual delimita la cantidad máxima de datos que puedo transmitir.
- El costo adicional de cada MB que sea en-

viado, después de haber agotado la cantidad máxima obtenida en el paquete de datos.

En la actualidad varios proveedores están ofreciendo equipos con planes de datos ilimitados, a un precio muy asequible, inferiores a USD \$30, eliminando la preocupación sobre la cantidad de datos que podemos capturas de los equipos ubicado en la red de distribución.

En el mercado se pueden conseguir módems con interfaz serial o con interfaz Ethernet RJ45, dependiendo de la estructura de red que se desee implementar. En el caso que se requiera realizar una LAN-to-LAN o implementar una red Ethernet entre varios equipos de una subestación es necesario que el modem GPRS posea funciones de enrutamiento con puertos Ethernet RJ45 y posibilidad de realizar NAT con conversiones estáticas. El costo de éste equipo oscila entre USD400 y USD500. Los módems de con interfaz serial necesitan adquirir un router adicional el cual pueda realizar el NAT. Los costos de este módems serial oscila entre USD200 y USD300 y el router Cisco 1721 el cual cumple con las funcionalidades descritas anteriormente.

### Costos anuales de implementación

Subestaciones SCADA + Gestión serial			
Equipos	Cantidad	Costos U	Costo Total
Modem GPRS + Antena	1	1.000.000	1.000.000
Conv Ethernet a RS485	1	500.000	500.000
Fuente DC-DC	1	300000	300000
Conv.RS232 a RS485	10	150.000	1.500.000
Plan datos ilimitado x (mes)	12	60.000	720.000
<b>Total costos en un año</b>			<b>4.020.000</b>

Subestaciones solo SCADA serial			
Equipos	Cantidad	Costos U	Costo Total
Modem GPRS + Antena	1	400.000	400.000
Fuente DC-DC	1	300000	300000
Convertor RS232 a RS485	1	150.000	150.000
Plan datos ilimitado x (mes)	12	60.000	720.000
<b>Total costos en un año</b>			<b>1.570.000</b>

Subestaciones SCADA + Gestión LAN			
Equipos	Cantidad	Costos U	Costo Total
Modem GPRS + Antena	1	1.000.000	1.000.000
Switch	1	1.000.000	1.000.000
Fuente DC-DC	1	300000	300000
Plan datos ilimitado x (mes)	12	60.000	720.000
<b>Total costos en un año</b>			<b>3.020.000</b>

## Recomendaciones

Cuando se instalen redes GPRS con más de 50 elementos, es necesario negociar con el proveedor de servicios la posibilidad de obtener una mejor prioridad en el transporte de los datos sobre el transporte de la voz.

A medida que se compren más equipos, el mantenimiento y la supervisión de éstos enlaces se torna complicada, se recomienda que los equipos que se instalen posean gestión por medio del estándar SNMP (Protocolo Simple de Administración de Red) el cual es un protocolo de la capa de aplicación que facilita el intercambio de información de administración entre dispositivos de red. Es parte de la familia de protocolos TCP/IP. SNMP permite a los administradores supervisar el desempeño de la red, buscar y resolver sus problemas, y planear su crecimiento. Así mismo como un grupo destinado a brindar el mantenimiento

Garantizar que los modem se reinicialicen automáticamente cuando no detecten actividad en la RED GPRS, o cuando tengan algún inconveniente, garantizando que el servicio de comunicaciones va a estar disponible cuando se necesite.

En lo posible no subir configuraciones de Firmware de los equipos, ya que como se mencionó anteriormente, en la red GPRS, la prioridad la tienen las llamadas, pudiendo ocasionar una interrupción del servicio lo cual puede repercutir en la transferencia de archivos, generando una configuración corrupta del firmware.

El tener más subestaciones y equipos integrados al sistema SCADA, implica aumentar el personal del área de operación o adquirir tecnología para procesar los datos y obtener información útil.

## Tendencias en comunicación

La NETL (National Energy Technology Laboratory) conformó un grupo de desarrollo llamado durante los años 2005 – 2006 “The Modern Grid Strategy” (MGS) el cual busca, acelerar la modernización del sistema de potencia de Estados Unidos. En uno de sus documentos “Appendix B1: A Systems View of the Modern Grid, *Integrated Communications*” NETL define cuales son los principales medios de comunicación disponibles para lograr la transferencia de datos e información entre los dispositivos de la red y el centro de control.

Siendo GPRS una de los recomendados por la NETL, hay varias tecnologías adicionales sobre las cuales se realizar pruebas de integración.

## Broadband over Power Line

Originalmente enfocada para proveer acceso a internet y transmisión de voz utilizando el protocolo IP (Internet Protocol) para usuarios domésticos o empresariales. BPL está comenzando a ser utilizada en Estados Unidos para cumplir con las necesidades de las funcionalidades tales como DER (Distributed Energy Resource), AMR (Automatic Meter Reading) como también para monitoreo de video utilizado principalmente para seguridad de la red de distribución y otras utilidades que necesiten una alta velocidad de transferencia de datos.

Tabla 1. Broadband over power line (BPL) technology “Modern Grid Systems View: Appendix B1 v2.0 *Integrated Communication*”

Broadband over Power Line (BPL)	
Nombre	Descripción
Broadband over power line	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Meets some utility needs for AMR, DER, DR, and consumer portal applications, as well as DA, video monitoring, and other highspeed data applications.</li> <li>• Deployable only over low- and medium-voltage distribution facilities</li> <li>• Demonstrated in over 30 pilots and trials</li> <li>• Has not penetrated the communications market as the lead candidate for supporting the modern grid’s communications infrastructure</li> <li>• Deployment and integration with distribution facilities currently limited</li> <li>• Numerous vendors are aggressively marketing these products</li> <li>• Next-generation systems now under development promise lower cost, improved performance, higher speed, and utility applicability</li> <li>• Application at transmission voltages may also be viable</li> <li>• Radio frequency interference with ham radio identified in some BPL technologies; however, techniques have been developed and appear effective in eliminating the interference.</li> </ul>

### Tecnologías inalámbricas

Numerosas tecnologías inalámbricas están emergiendo como posibles candidatas para proveer una infraestructura de comunicaciones para una red moderna, a la fecha solo algunas pocas han realizado una significativa penetración del mercado en otros sistemas o para aplicaciones del usuario.

Tabla 2. Tecnologías Inalámbricas “Modern Grid Systems View: Appendix B1 v2.0 Integrated Communication”

Tecnologías Inalámbricas	
Nombre	Descripción
Multiple address system radio	<ul style="list-style-type: none"> <li>Consists of a master radio transmitter/receiver and multiple remote transmitters/receivers</li> <li>Master can access multiple units</li> <li>Can be used as a repeater radio to transmit signals over or around obstructions</li> <li>Used widely by utilities for SCADA systems and DA systems</li> <li>Flexible, reliable, and compact</li> </ul>
Paging networks	<ul style="list-style-type: none"> <li>Radio systems that deliver short messages to small remote mobile terminals</li> <li>One-way messaging is cost effective, but two-way is generally cost prohibitive</li> <li>Some paging standards exist, but many systems remain proprietary</li> </ul>
Spread spectrum radio systems	<ul style="list-style-type: none"> <li>Used in point-to-multipoint radio systems</li> <li>Can operate unlicensed in 902-928 MHz band but must continually hop over a range of frequencies</li> <li>Line of sight is needed for optimal coverage</li> <li>Often used as last-mile connection to a main communications system</li> </ul>
WiFi	<ul style="list-style-type: none"> <li>Utilizes IEEE 802.11b and IEEE 802.11g</li> <li>Data transfer rates range from 5 – 10 Mbps for 802.11b and up to 54 Mbps for 802.11g</li> <li>Effective for in-office or in-home use</li> <li>Range is only about 100 meters</li> </ul>
WiMax	<ul style="list-style-type: none"> <li>Utilizes IEEE 802.16</li> <li>Provides longer distance communications (10 – 30 miles) with data transfer rates of 75 Mbps</li> <li>May be used as the spine of a transmission and distribution communications system that will support WiFi applications for SA or DA</li> <li>Can communicate out-of-sight using IEEE 802.16e and can communicate with moving vehicles</li> <li>Communicates point-to-point with different vendors</li> </ul>
Next-generation cellular (3G)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Can be applied as a low-cost solution for SA to control and monitor substation performance when small bursts of information are needed</li> <li>May not meet the quality needs of online substation control and monitoring</li> <li>Expected to be cost effective and quickly implemented</li> <li>Coverage may not be 100% (some dead zones)</li> <li>Time division multiple access (TDMA) Wireless</li> <li>Digital cellular communication technology that allocates unique time slots to each user in each channel</li> <li>Utilizes IS-136 standard</li> <li>Two major (competing) systems split the cellular market: TDMA and CDMA (see below); third-generation wireless networks will use CDMA</li> </ul>
Technology Description Code division multiple access (CDMA) wireless	<ul style="list-style-type: none"> <li>Has become the technology of choice for the future generation of wireless systems because network capacity does not directly limit the number of active radios; this is a significant economic advantage over TDMA</li> <li>Has been widely deployed in the United States</li> <li>Utilizes the IS-95 standard which is being supplanted by IS-2000 for 3G cellular systems</li> </ul>
Very small aperture terminal (VSAT) satellite	<ul style="list-style-type: none"> <li>Provides new solutions for remote monitoring and control of transmission and distribution substations</li> <li>Can provide extensive coverage</li> <li>Can be tailored to support substation monitoring and provide GPS-based location and synchronization of time (important for successful use of phasor measurement units)</li> <li>Quickly implemented</li> <li>High cost, except for remote locations</li> <li>Functionality effected by severe weather</li> </ul>

Tabla 3: Otras tecnología. Modern Grid Systems View: Appendix B1 v2.0 Integrated Communications

Otras Tecnologías	
Nombre	Descripción
Internet2	<ul style="list-style-type: none"> <li>Next-generation high-speed internet backbone</li> <li>More than 200 universities are working to develop and deploy advanced network applications</li> </ul>
Power-line carrier	<ul style="list-style-type: none"> <li>Supports advanced metering infrastructure (AMI) deployments and grid control functions, such as load shedding</li> <li>Communicates over electric power lines</li> <li>Provides low-cost, reliable, low- to medium-speed, two-way communications between utility and consumer</li> </ul>
Fiber to the home (FTTH)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Provides a broadband fiber-optic connection to customer sites</li> <li>Costs of installation and associated electronics prohibitive</li> <li>For decades, has been the “holy Grail” of the telecommunications industry, promising nearly unlimited bandwidth to the home user</li> <li>To be cost-effective, needs passive optical network, which permits a single fiber to be split up to 128 times without active electronic repeaters; general decrease in cost of electronics is also helpful</li> </ul>
Hybrid fiber coax (HFC) architecture	<ul style="list-style-type: none"> <li>Uses fiber to carry voice, video, and data from the central office (head end) to the optical node serving a neighborhood</li> <li>Cable operators have begun plant upgrades using HFC to provide bi-directional services, such as video-on-demand, high-speed Internet, and voice-over-Internet protocol</li> </ul>
Radio frequency identification (RFID)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Uses radio frequency communication to identify objects</li> <li>Provides an alternative to bar codes</li> <li>Does not require direct contact or line-of-sight scanning</li> <li>Low-frequency systems have short ranges (generally less than six feet); high-frequency systems have ranges of more than 90 feet.</li> </ul>

### Bibliografía

U.S. Department of Energy Office of Electricity Delivery and Energy Reliability, National Energy Technology Laboratory. 2007. *A Systems View of the Modern Grid, Appendix B1 v2.0: Integrated Communications Optimizes Assets and Operates Efficiently.*

Solveig M. Ward (2007). Communication channel, requirements for pilot protection. *PAC World*, 1, 46-51.

Walter K. Eichelburg, Distributed Wireless Automation Using GPRS/3G, Bahnsteggasse 29/1/20, A-1210 Vienna, Austria.

Dukart, J. R. 2003. The future of distribution. *Transmission and Distribution World* (Enero), [http://tdworld.com/mag/power\\_future\\_distribution/](http://tdworld.com/mag/power_future_distribution/).

Bonneville Power Administration (BPA) Technology Innovation Office (2006), *Transmission Technology Roadmap.*