

Unión Internacional de Telecomunicaciones

UIT-R

Sector de Radiocomunicaciones de la UIT

Informe UIT-R SM.2351-2
(06/2017)

Sistemas de gestión de servicios públicos por red inteligente

Serie SM
Gestión del espectro



Unión
Internacional de
Telecomunicaciones

Prólogo

El Sector de Radiocomunicaciones tiene como cometido garantizar la utilización racional, equitativa, eficaz y económica del espectro de frecuencias radioeléctricas por todos los servicios de radiocomunicaciones, incluidos los servicios por satélite, y realizar, sin limitación de gamas de frecuencias, estudios que sirvan de base para la adopción de las Recomendaciones UIT-R.

Las Conferencias Mundiales y Regionales de Radiocomunicaciones y las Asambleas de Radiocomunicaciones, con la colaboración de las Comisiones de Estudio, cumplen las funciones reglamentarias y políticas del Sector de Radiocomunicaciones.

Política sobre Derechos de Propiedad Intelectual (IPR)

La política del UIT-R sobre Derechos de Propiedad Intelectual se describe en la Política Común de Patentes UIT-T/UIT-R/ISO/CEI a la que se hace referencia en la Resolución UIT-R 1. Los formularios que deben utilizarse en la declaración sobre patentes y utilización de patentes por los titulares de las mismas figuran en la dirección web <http://www.itu.int/ITU-R/go/patents/es>, donde también aparecen las Directrices para la implementación de la Política Común de Patentes UIT-T/UIT-R/ISO/CEI y la base de datos sobre información de patentes del UIT-R sobre este asunto.

Series de los Informes UIT-R

(También disponible en línea en <http://www.itu.int/publ/R-REP/es>)

Series	Título
BO	Distribución por satélite
BR	Registro para producción, archivo y reproducción; películas en televisión
BS	Servicio de radiodifusión sonora
BT	Servicio de radiodifusión (televisión)
F	Servicio fijo
M	Servicios móviles, de radiodeterminación, de aficionados y otros servicios por satélite conexos
P	Propagación de las ondas radioeléctricas
RA	Radio astronomía
RS	Sistemas de detección a distancia
S	Servicio fijo por satélite
SA	Aplicaciones espaciales y meteorología
SF	Compartición de frecuencias y coordinación entre los sistemas del servicio fijo por satélite y del servicio fijo
SM	Gestión del espectro

Nota: Este Informe UIT-R fue aprobado en inglés por la Comisión de Estudio conforme al procedimiento detallado en la Resolución UIT-R 1.

Publicación electrónica
Ginebra, 2020

© UIT 2020

Reservados todos los derechos. Ninguna parte de esta publicación puede reproducirse por ningún procedimiento sin previa autorización escrita por parte de la UIT.

INFORME UIT-R SM.2351-2

Sistemas de gestión de servicios públicos por red inteligente

(2015-2016-2017)

ÍNDICE

Página

1	Introducción.....	3
2	Comunicaciones y particularidades de las redes inteligentes	4
3	Tecnologías de red inteligente por redes de comunicación.....	5
	3.1 Función de la UIT y de las organizaciones de normalización.....	5
	3.2 Coordinación en la UIT	6
4	Objetivos y ventajas de las redes inteligentes	7
	4.1 Reducción de la demanda global de electricidad mediante la optimización del sistema	7
	4.2 Integración de recursos energéticos renovables y distribuidos.....	8
	4.3 Medición inteligente	8
	4.4 Obtener una red resistente.....	10
5	Descripción general de la arquitectura de referencia de la red inteligente	11
6	Normas sobre cables y líneas eléctricas para telecomunicaciones por la red eléctrica ..	12
	6.1 Comunicaciones de red eléctrica por las líneas eléctricas	13
	6.2 Comunicaciones de la red eléctrica inteligente por redes de cable.....	14
7	Normas inalámbricas para telecomunicaciones de la red eléctrica inteligente.....	15
	7.1 Red doméstica.....	15
	7.2 WAN/NAN/FAN	16
8	Consideraciones sobre la interferencia asociada con el despliegue de tecnologías alámbricas e inalámbricas de transmisión de datos que se emplean en sistemas de gestión de la red eléctrica	17
9	Impacto del despliegue generalizado de redes alámbricas e inalámbricas utilizadas para sistemas de gestión de redes eléctricas en la disponibilidad del espectro	18
10	Conclusión	19

Anexo 1 – Ejemplos de normas existentes relativas a sistemas de gestión de redes eléctricas	20
A1.1 Normas del IEEE	20
A1.2 Normas del UIT-T	26
A1.3 Normas 3GPP	26
A1.4 Normas 3GPP2	41
Anexo 2 – Red inteligente en Norteamérica	43
A2.1 Introducción	43
A2.2 Motivos de la implantación de redes inteligentes	44
Anexo 3 – Red inteligente en Europa	45
A3.1 Introducción	45
A3.2 Actividades europeas en algunos Estados Miembros	46
Anexo 4 – Red inteligente en Brasil	48
A4.1 Introducción	48
A4.2 Sector energético brasileño	49
A4.3 Comisión de Estudio sobre la red inteligente brasileña	49
A4.4 Cuestiones de telecomunicaciones	50
A4.5 Datos técnicos	50
A4.6 Mediciones en ondas kilométricas	51
A4.7 Conclusión	51
Referencias	51
Anexo 5 – Red inteligente en la República de Corea	51
A5.1 Hoja de ruta de la red inteligente en Corea	51
A5.2 Desarrollo tecnológico	53
Anexo 6 – Red inteligente en Indonesia	54
A6.1 Introducción	54
A6.2 Desarrollo de la red inteligente y sus problemas	54
Anexo 7 – Investigaciones sobre tecnologías de acceso inalámbrico para red inteligente en China	56
A7.1 Introducción	56
A7.2 Tecnología de acceso inalámbrico para red inteligente en China	56
A7.3 Conclusión	58

1 Introducción

Red inteligente es la expresión que se utiliza para calificar los sistemas avanzados de servicios públicos (electricidad, gas y agua) entre las fuentes de abastecimiento y producción y los puntos de consumo, y comprende todos los sistemas conexos de administración y gestión interna, junto con modernas tecnologías integradas de información digital. Se espera que, a la larga, la mejora de la fiabilidad, seguridad y eficiencia de la infraestructura de distribución por red inteligente reduzca los costes de la prestación de servicios públicos a los usuarios.

Las tecnologías de comunicación se han convertido rápidamente en un elemento fundamental de la infraestructura de red inteligente que muchos servicios públicos están creando. En los últimos años, por ejemplo, administraciones y comisiones nacionales que supervisan la producción, la distribución y el consumo eléctricos se han comprometido a mejorar su eficiencia, impacto en el medio ambiente, seguridad y fiabilidad, tratando de reducir en 40% los gases de efecto invernadero causados en todo el mundo por la producción de electricidad¹. Los sistemas de redes inteligentes son tecnologías facilitadoras fundamentales a este respecto.

Los objetivos principales del proyecto de red inteligente son los siguientes:

- garantizar un abastecimiento seguro;
- facilitar el paso hacia una economía con bajas emisiones de carbono;
- mantener precios estables y asequibles.

Unas comunicaciones seguras son un componente esencial de una red inteligente, como demuestran algunas de las instalaciones de red inteligentes más grandes y avanzadas que se están desarrollando actualmente. Además, con la superposición de tecnologías de la información, una red inteligente puede ser predictiva y autorregenerable, lo que permite evitar automáticamente los problemas. Una medición inteligente efectiva en el hogar y la empresa es fundamental para el proyecto de red inteligente porque permite supervisar en tiempo real el consumo y comunicar con los centros de control de la red de modo que consumo y producción correspondan y el abastecimiento se pueda efectuar por un nivel de precio apropiado.

En la UIT, la implementación de redes inteligentes se ha vinculado intrínsecamente con diversas tecnologías alámbricas e inalámbricas desarrolladas para numerosos casos de conexión en red². Los servicios de red inteligente fuera del hogar comprenden infraestructuras de medición avanzada (AMI), gestión de medición automática (AMM), lectura automatizada de medidores (AMR) y automatización del abastecimiento. En el hogar, las aplicaciones de red inteligente servirán sobre todo para medir, supervisar y controlar las comunicaciones entre el servicio público, los medidores inteligentes y aparatos inteligentes como radiadores, acondicionaron desde aire, lavadoras y otros aparatos. Una aplicación importante prevista es la recarga y facturación de las comunicaciones intercambiadas entre vehículos eléctricos y sus estaciones de recarga. Los servicios de red inteligente en el hogar permitirán un control granular de aparatos inteligentes, gestionar la distancia aparatos eléctricos y presentar datos de consumo y costes asociados para informar mejor a los consumidores y motivarlos así a ahorrar energía.

¹ *The European Commission Smart Grid Vision and Strategy for Europe's Electricity Networks of the Future* («EC Smart Grid Vision Report» en Comisión Europea 7, 2006, en <http://www.smartgrids.eu/documents/vision.pdf>).

² IEEE 802 tiene normas que han sido elaboradas específicamente para redes inteligentes y conectividad de largo alcance en exteriores.

2 Comunicaciones y particularidades de las redes inteligentes

El proyecto de red inteligente contempla una conectividad ubicua en todos los puntos de las redes de abastecimiento de servicios públicos, desde las fuentes de abastecimiento, pasando por los centros de gestión de red y hasta instalaciones y aparatos individuales. La red inteligente exigirá enormes caudales de datos bidireccionales y una conectividad compleja equiparable a la de Internet. Más información sobre los flujos de comunicación contemplados por el tendido eléctrico está disponible en el Documento técnico de la UIT «Applications of UIT-T G.9960, UIT-T G.9961 transceivers for Smart Grid applications: Advanced metering infrastructure, energy management in the home and electric vehicles»³. A fin de aumentar el interés del UIT T por el proyecto de red inteligente, el trabajo sobre la conectividad por el tendido eléctrico y el diseño de módems PLT específicamente para aplicaciones de red inteligente se ha separado del trabajo más general sobre las redes domésticas en el marco de la Recomendación G.9960 y continúa ahora en la familia de Recomendaciones UIT-T G.990x (ex G.9955), es decir G.9901, G.9902, G.9903 y G.9904.

Las redes inteligentes proporcionará en la infraestructura de superposición y control de información, creando así una red integrada de comunicación y detección. La red de abastecimiento que permite la red inteligente aumenta el control del proveedor y del cliente sobre la utilización de electricidad, agua y gas. Además, gracias a la red, las redes de distribución de servicios públicos funcionan con una eficacia nunca vista.

Todos los países, institutos de investigación, comisiones, empresas y organizaciones de normalización siguientes han identificado particularidades y características de la red inteligente y la medición inteligente:

- Legislación reciente de Estados Unidos⁴
- Grupo sobre interfuncionamiento de redes eléctricas inteligentes (SGIP)⁵
- El Electric Power Research Institute (EPRI)⁶
- La Modern Grid Initiative financiada por el Departamento de Energía de Estados Unidos (DOE)⁷
- La European Commission Strategic Research Agenda⁸
- Consultas recientes en el Reino Unido sobre implementación de medición inteligente⁹

³ <http://www.itu.int/publ/T-TUT-HOME-2010/en>

⁴ La Energy Independence and Security Act de 2007 (Public Law 110-140) (TITLE XIII—SMART GRID). <http://www.gpo.gov/fdsys/pkg/PLAW-110publ140/pdf/PLAW-110publ140.pdf>

⁵ *NISTIR 7761v2 Priority Action Plan 2 Guidelines for assessing wireless standards for Smart Grid applications.*

⁶ <http://my.epri.com/portal/server.pt>

⁷ La Modern Grid Initiative financiada por el DOE identifica una red moderna o inteligente: http://www.netl.doe.gov/smartgrid/referenceshelf/whitepapers/Integrated%20Communications_Final_v2_0.pdf

⁸ EUR 22580 – *Strategic Research Agenda for Europe's Electricity Networks of the Future (EC Strategic Research Agenda)* en 62, Comisión Europea, 2007. ftp://ftp.cordis.europa.eu/pub/fp7/energy/docs/smartgrids_agenda_en.pdf

⁹ El Departamento de Energía y Cambio Climático del Reino Unido organizó una consulta sobre implementación de medición inteligente en 2010-2011 (ref.: 10D/732 20/7/2010 – 30/03/2011), cuyos resultados se pueden consultar aquí: https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/42742/1475-smart-metering-imp-response-overview.pdf.

– Telecommunications Industry Association, Committee TR51, Smart Utility Networks¹⁰

3 Tecnologías de red inteligente por redes de comunicación

Varios tipos de redes de comunicación se pueden utilizar en la implementación de redes inteligentes. Ahora bien, esas redes de comunicación deben ofrecer una capacidad suficiente para las aplicaciones de red inteligente básicas y avanzadas que existen hoy y las que estarán disponibles en un futuro cercano.

La red de distribución eléctrica es un sistema de suministro en el que el producto (energía eléctrica) se caracteriza por un tiempo entre la producción y el consumo prácticamente nulo: la generación, suministro y consumo se produce «todo» casi al mismo tiempo. El problema de equilibrar la producción y la demanda se multiplicará con la integración de nuevas tecnologías destinadas a lograr de manera sostenible la independencia energética y la modernización de la red de distribución avejentada, por ejemplo, fuentes de energía renovable, recursos energéticos distribuidos (RED), vehículos eléctricos recargables, gestión de la demanda y respuesta, almacenamiento y participación del consumidor, etc. A fin de equilibrar la generación y la demanda de un «sistema oportuno perfecto» es necesario integrar tecnologías adicionales de protección y control que garanticen la estabilidad de la red, modificación de la actual red que dista de ser trivial y supone un verdadero reto de diseño, dada la naturaleza estocástica de la generación y de la carga.

Para dar soporte a las tecnologías y aplicaciones anteriormente mencionadas, es necesario garantizar la disponibilidad de una red de comunicaciones moderna, flexible y ampliable que reúna las funciones de «vigilancia» y «control». Las tecnologías de la información y la comunicación permitirán ubicar, aislar y restaurar a distancia, y de una manera más rápida, las interrupciones de energía, mejorando de este modo la estabilidad de la red. Asimismo, las tecnologías de la información y de la comunicación facilitarán la incorporación a la red de fuentes renovables de energía que varían con el tiempo, permitirán controlar mejor y de una manera más dinámica la carga y dotarán a los consumidores de herramientas para optimizar el consumo de energía.

Estos objetivos tendrán que basarse en normas que garanticen que las diversas tecnologías y equipos que dan soporte a las comunicaciones de red inteligente son adecuados para su fin y no interfieren entre sí o con otros sistemas de telecomunicaciones y que los componentes radioeléctricos no causen interferencia a los servicios de radiocomunicaciones.

3.1 Función de la UIT y de las organizaciones de normalización

La industria de las telecomunicaciones desempeña un papel muy importante en las aplicaciones para redes eléctricas inteligentes; por ejemplo, el acceso por banda ancha puede emplearse en la gestión del lado de la demanda y los proveedores de servicios energéticos en la nube también pueden llegar a los hogares a través de las tecnologías ya existentes de acceso por banda ancha. Asimismo, la industria de la electrónica de consumo desarrollará unos productos basados en las nuevas normas de eficacia energética que también apoyarán las aplicaciones de las redes eléctricas inteligentes, como la respuesta a la demanda. La convergencia de las industrias de telecomunicaciones, energéticas y de electrónica de consumo en el ámbito de las aplicaciones para redes eléctricas inteligentes servirá de impulso a un nuevo ecosistema de productos. Esta convergencia debe producirse bajo los auspicios de las organizaciones internacionales de normalización, que tendrán que trabajar de manera conjunta.

¹⁰ <http://www.tiaonline.org/all-standards/committees/tr-51>

Para dar soporte a estas aplicaciones, será necesario elaborar nuevas Recomendaciones y mejorar las Recomendaciones ya existentes que abarcan todos los aspectos de las comunicaciones de banda estrecha y banda ancha y su gestión a través de la red eléctrica, desde la generación hasta la carga. Estos estudios incluirán cuestiones relacionadas con las comunicaciones desde la capa física hasta el transporte de los protocolos de capa superior a través de redes heterogéneas, así como la definición de los requisitos y la arquitectura de las comunicaciones mediante redes eléctricas inteligentes.

Dada la naturaleza interdisciplinaria de las aplicaciones para redes eléctricas inteligentes, será necesario un alto grado de cooperación entre los Sectores de la UIT, a través de Comisiones de Estudio, Cuestiones, Grupos Temáticos, Actividades mixtas de coordinación (JCA), iniciativas estratégicas mundiales (GSI), así como con otros organismos internacionales, institutos de investigación, consorcios industriales y otros foros que se dedican a las redes eléctricas inteligentes.

El CEI está coordinando a escala mundial normas sobre redes eléctricas inteligentes, y ha desarrollado una hoja de ruta y una perspectiva estratégica para esas actividades¹¹, en particular sobre lagunas en la normalización y recomendaciones.

El UIT-T coopera con el CEI en los aspectos de la red inteligente relacionados con las comunicaciones. La colaboración con TC57 WG 20 del CEI ya está consolidada y se ampliará a otros Comités Técnicos del CEI y otras organizaciones externas, según proceda. Sin una estrecha coordinación, existe el peligro de duplicar el trabajo y de que se elaboren normas incompatibles y no interoperables.

3.2 Coordinación en la UIT

En el UIT-T, varias Comisiones de Estudio (por ejemplo, las CE 5, 9, 13, 15, 16 y 17) están estudiando y preparando Recomendaciones relacionadas con el transporte en la red de acceso. Esas iniciativas de coordinación dentro del UIT-T se basan en información exhaustiva reunida anteriormente a través del Grupo Temático del UIT-T sobre Red inteligente, que fue establecido por el Grupo Asesor de Normalización de las Telecomunicaciones (GANT) del UIT-T en su reunión de febrero de 2010 con el fin de ofrecer a las Comisiones de Estudio del UIT-T un foro común para actividades de normalización de la red inteligente y para colaborar con comunidades de redes inteligentes del mundo entero (por ejemplo, institutos de investigación, foros, instituciones académicas, SDO y grupos industriales). Se identificaron los objetivos siguientes:

- identificar posibles consecuencias para la elaboración de normas;
- investigar futuros temas de estudio del UIT-T y acciones conexas;
- familiarizar al UIT-T y a las comunidades de la normalización sobre los nuevos atributos de la red inteligente;
- fomentar la colaboración entre el UIT-T y comunidades de red inteligente.

En otra iniciativa, el GANT creó, en su reunión de enero de 2012, un grupo especial denominado Actividad de coordinación conjunta sobre redes inteligentes y redes domésticas (JCA SG&HN) con el fin de coordinar las actividades dentro del UIT-T. Esta Actividad sustituyó la antigua JCA sobre redes domésticas (JCA-HN). El mandato de la JCA SG&HN es la coordinación, dentro y fuera del UIT-T, de los trabajos de normalización relativos a todos los aspectos de red de la red inteligente y la comunicación conexas, así como las redes domésticas. La JCA SG&HN concluyó satisfactoriamente en junio de 2013 y, desde entonces, la Comisión de Estudio 15 del UIT-T coordina directamente las «redes eléctricas inteligentes y redes domésticas» y actúa de centro de coordinación dentro del UIT-T.

¹¹ Véase <http://www.iec.ch/smartgrid>

Por otra parte, la CE 15 del UIT-T participa actualmente en las siguientes iniciativas encargadas de temas relacionados con la red inteligente:

- [Actividad de coordinación conjunta sobre la Internet de las cosas \(JCA-IoT\).](#)
- [Actividad de coordinación conjunta sobre las TIC y el Cambio Climático \(JCA-TIC-CC\).](#)
- [Grupo Temático sobre M2M \(FG-M2M\).](#)
- [Colaboración sobre la normalización de las comunicaciones de Sistemas de Transporte Inteligentes \(STI\).](#)

La función del UIT-R consiste en supervisar las actividades e intervenir, en caso necesario, para garantizar que las iniciativas sobre utilización de frecuencias y energía RF para las comunicaciones de la red inteligente no deterioren o degraden el funcionamiento de los servicios de radiocomunicaciones, habida cuenta de que la red de distribución de energía eléctrica se corresponde estrechamente con la distribución demográfica y las correspondientes necesidades de servicios de radiocomunicaciones ilimitados.

Las actividades paralelas sobre tecnologías de comunicación de red inteligente en el Sector UIT-R se enmarcan en la nueva Cuestión UIT-R 236/1 de la Comisión de Estudio 1 del UIT-R – Efecto de las tecnologías de transmisión de datos alámbricas e inalámbricas utilizadas en los sistemas de gestión de la red eléctrica sobre los sistemas de radiocomunicaciones.

4 Objetivos y ventajas de las redes inteligentes

4.1 Reducción de la demanda global de electricidad mediante la optimización del sistema

Los sistemas locales existentes de distribución de electricidad están concebidos para proporcionar energía y enviarla en una dirección, pero carecen de la inteligencia necesaria para optimizar el abastecimiento. Por consiguiente, los proveedores deben disponer de una capacidad suficiente de generación de electricidad para atender crestas de demanda energética, aunque esas crestas sólo se producen unos pocos días al año y la demanda media es muy inferior. Prácticamente, eso significa que los días en que esperan que la demanda sea superior a la media, los proveedores ponen en marcha generadores poco utilizados, menos eficientes y más onerosos.

Estados Unidos, el Congreso de ese país¹², la Agencia de Energía Internacional¹³ y muchos investigadores y empresas de servicios públicos consideran que la red inteligente es una tecnología esencial que mejora la fiabilidad y reduce el impacto medioambiental del consumo eléctrico. El EPRI ha estimado que el abastecimiento eléctrico gestionado por red inteligente podría reducir el consumo de electricidad en 5% a 10% y las emisiones de dióxido de carbono en 13% a 25%¹⁴.

¹² Por ejemplo, una reciente legislación federal de Estados Unidos, la Energy Independence and Security Act of 2007 (Public Law 110-140), determina que la política de Estados Unidos consistirá en implementar sistemas de red inteligente para modernizar el tendido eléctrico, y exigirá que los gobiernos federales y estatal y los reguladores adopten medidas específicas para facilitar la implementación de una red inteligente.

¹³ *International Energy Agency, Energy Technology Prospectives*, 2008 at 179.

¹⁴ Véase *Electricity Sector Framework for the Future: Achieving the 21st Century Transformation at 42*, Electric Power Research Institute (Ago. 2003) («EPRI Report»), en http://www.globalregulatorynetwork.org/PDFs/ESFF_volume1.pdf

4.2 Integración de recursos energéticos renovables y distribuidos

La conectividad y las comunicaciones por red inteligente resuelven el problema del tratamiento de la energía eléctrica autogenerada. Dado el aumento de los costes de la energía y la siempre creciente sensibilidad medioambiental, cada vez más personas y empresas se encargan ellas mismas de generar su propia electricidad a partir de fuentes de energía renovables, como eólicas o solares. En consecuencia, a menudo es difícil oneroso o incluso imposible conectar a la red fuentes de energía renovable distribuidas. Además, aun cuando se vuelve a introducir energía renovable en la red, las redes de distribución de todo el mundo no pueden anticipar ni reaccionar a este retorno de electricidad. Las técnicas de medición de la red ayudarán a integrar fuentes de energía renovable dispares en la red. La generación y distribución descentralizada de energía es una de las nuevas capacidades que ofrece la red inteligente.

La red inteligente ofrece la solución porque comunica al centro de control cuanta energía se necesita y cuanta se recibe de fuentes autogeneradoras. De este modo, la capacidad de generación principal se puede equilibrar para tener en cuenta el insumo adicional para atender la demanda. Como la red inteligente permite hacerlo en tiempo real, las empresas de servicios públicos pueden evitar los problemas que plantea el carácter impredecible de las fuentes de energía renovable. En un reciente informe sobre el interés de la automatización de la distribución, encargado por la California Energy Commission a Energy and Environmental Economics, Inc. (E3) y EPRI Solutions, Inc., se indica que ese tipo de almacenamiento distribuido de electricidad que se puede gestionar en tiempo real (como baterías o vehículos eléctricos con enchufe de alimentación) representaría un interés hasta 90% superior con respecto a un activo similar que no estuviera conectado a una red inteligente¹⁵.

4.3 Medición inteligente

Una aplicación de los sistemas de gestión de red eléctrica es la medición inteligente. Las funciones de medición inteligente son, entre otras:

- infraestructura de medición avanzada (AMI, *advanced metering infrastructure*);
- gestión de medición automática (AMM, *automated meter management*);
- lectura de medición automática (AMR, *automated meter reading*).

A continuación se da un ejemplo de una lista de bandas utilizadas para sistemas inalámbricos de gestión de red eléctrica en algunas partes del mundo.

¹⁵ *California Energy Commission on the Value of Distribution Automation*, [«California Energy Commission Public Interest Energy Research Final Project Report»](#), p. 95 (abril de 2007) (CEC Report).

CUADRO 1

**Ejemplo de bandas de frecuencias utilizadas para sistemas
inalámbricos de gestión de red inteligente**

Frecuencia (MHz)	Zona/región	Comentarios sobre la utilización real
40-230 (parte de), 470-694/698	Norteamérica, Reino Unido, Europa, África y Japón	Espacios en blanco de TV, legislación terminada en EE.UU. y el Reino Unido. Legislación en curso en Europa.
169,4-169,8125	Europa	MBus inalámbrico
220-222	Algunas partes de la Región 2 de la UIT	En la Región 1 de la UIT + Irán, esta gama forma parte de la banda utilizada para radiodifusión terrenal conforme al Acuerdo GE06, no utilizada para AMR/AMI
223-235	China	Banda con licencia
410-430	Partes de Europa	
450-470	Norteamérica, partes de Europa	
470-510	China	Banda de dispositivos de corto alcance (SRD, <i>short range device</i>)
470-698	Norteamérica y Europa	En la Región 1 de la UIT + Irán, esta gama forma parte de la banda utilizada para radiodifusión terrenal conforme al Acuerdo GE06, no utilizada para AMR/AMI
779-787	China	
868-870	Europa	Recomendación 70-03 del Comité Europeo de Radiocomunicaciones (ERC)
873-876	Partes de Europa	Recomendación 70-03 del ERC
896-901	Norteamérica	Banda con licencia, Parte 90 en EE.UU.
901-902	Norteamérica	Banda con licencia, Parte 24 en EE.UU.
902-928	Norteamérica, Sudamérica, Australia	ISM exento de licencia. En Australia y algunos países de América del Sur, sólo está atribuida la mitad superior de la banda
915-921	Partes de Europa	Recomendación 70-03 del ERC
917-923,5	Corea	
920-928	Japón	
928-960	Norteamérica	Banda con licencia, Partes 22, 24, 90 y 101 en EE.UU.
950-958	Japón	Compartida con RFID pasivos

CUADRO 1 (*fin*)

Frecuencia (MHz)	Zona/región	Comentarios sobre la utilización real
1 427-1 518	Estados Unidos de América y Canadá	En partes de la Región 1, a saber, en Europa: <ul style="list-style-type: none"> – la gama 1 452-1 479,2 MHz está planificada para uso por la radiodifusión terrenal conforme al Acuerdo Ma02revCO07 (registrado en la UIT como acuerdo regional) y por el servicio móvil para enlace descendente suplementario únicamente con arreglo a una decisión pertinente de la CE; – la gama 1 492-1 518 MHz es utilizada para micrófonos inalámbricos conforme al Anexo 10 a la Recomendación 70-03 del ERC; – no utilizada para AMR/AMI.
2 400-2 483,5	Mundial	
3 550-3 700	Estados Unidos de América	Con licencia regional
5 250-5 350	Norteamérica, Europa, Japón	
5 470-5 725	Norteamérica, Europa, Japón	
5 725-5 850	Norteamérica	Exento de licencia, banda ISM

La familia de tecnologías 3GPP2 cdma2000 Multiportadoras también se puede utilizar para aplicaciones de gestión de red eléctrica. Las bandas aplicables se definen en la especificación de clase de banda 3GPP2 C.S0057-E v1.0 para sistemas de espectro ensanchado cdma2000.

4.4 Obtener una red resistente

Los operadores de redes utilizan tecnologías de teledetección en las líneas del tendido eléctrico para reunir información en tiempo real sobre la situación de la red. De este modo, los proveedores de infraestructuras nacionales esenciales pueden impedir interrupciones antes de que se produzcan y, si se producen, localizar rápidamente su emplazamiento. Para ello, la red inteligente utiliza diversas herramientas informáticas que reúnen y analizan datos de sensores repartidos en toda la red eléctrica que indican donde se producen bajas de rendimiento. Las empresas de distribución pueden maximizar sus programas de mantenimiento para impedir averías, y enviar rápidamente ingenieros al lugar del incidente, sin necesidad de recibir información del consumidor. En estos últimos años, cortes de corriente muy comentados en redes norteamericanas y europeas han convertido la seguridad del tendido eléctrico en una cuestión política, y con el envejecimiento de las redes, el número de interrupciones y de las consiguientes perturbaciones para los usuarios no harán más que aumentar. La red inteligente será una auténtica arma en esta lucha constante por el control.

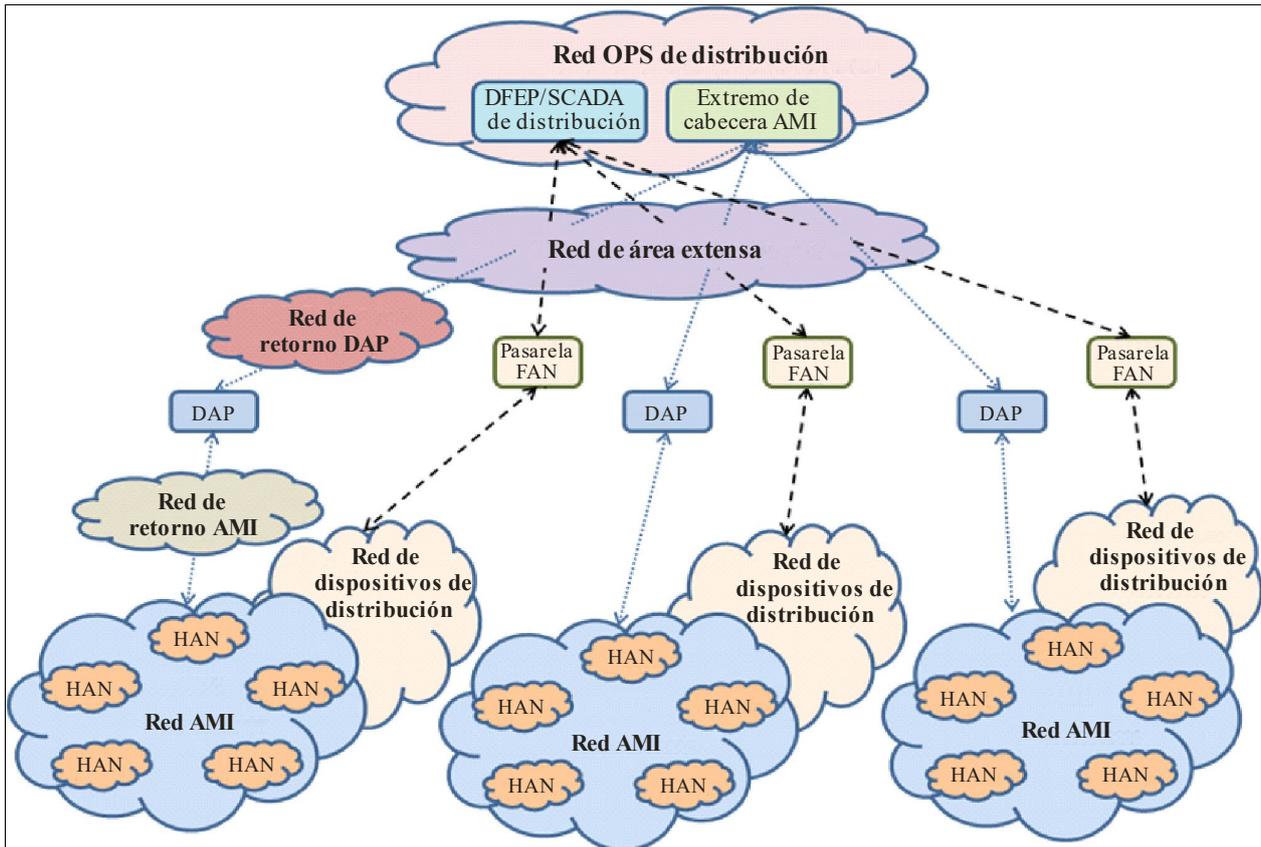
5 Descripción general de la arquitectura de referencia de la red inteligente

A continuación se muestra un ejemplo de arquitectura de referencia de red inteligente. Se ilustran los elementos siguientes¹⁶:

- Red doméstica (HAN, *home area network*) – Red de dispositivos de gestión de energía, dispositivos digitales de consumo, aparatos controlados o permitidos por señal y aplicaciones en un entorno doméstico que se encuentra en el lado doméstico del medidor eléctrico.
- Red de campo (FAN, *field area network*) – Red concebida para proporcionar conectividad a dispositivos DA en el terreno. La FAN puede proporcionar un trayecto de conectividad de retorno a la subestación que se encuentra antes de los dispositivos DA en el terreno o conectividad que contorna las subestaciones y enlaza los dispositivos DA en el terreno en un sistema centralizado de gestión y control (comúnmente llamado sistema SCADA).
- Red de barrio (NAN, *neighborhood area network*) – Sistema de red destinado a proporcionar conectividad directa con dispositivos finales de red inteligente en una zona geográfica relativamente pequeña. En la práctica, una NAN puede abarcar una zona de varias manzanas en un entorno urbano, o zonas de varios kilómetros de lado en un entorno rural.
- Red de área extensa (WAN, *wide area network*).
- Punto de agregación de datos (DAP, *data aggregation point*) – Este dispositivo es un actor lógico que representa una transición en la mayoría de las redes AMI entre redes de área local y redes de barrio (por ejemplo: colector, retransmisión de célula, estación de base, punto de acceso, etc.).
- Infraestructura de medición avanzada (AMI, *advanced metering infrastructure*) – Sistema de red concebido específicamente para soportar conectividad bidireccional con medidores eléctricos, de gas y agua, o más concretamente para medidores AMI y, potencialmente, la interfaz de servicio energético para el servicio público.
- Control de supervisión y adquisición de datos (SCADA, *supervisory control and data acquisition*) – Sistema utilizado para supervisar rutinariamente operaciones de red de distribución eléctrica y realizar controles supervisados, en su caso.
- Procesador frontal (FEP, *front-end processor*) – Este dispositivo sirve de conducto primario para enviar comandos desde DMS/SCADA y recibir información desde dispositivos en el terreno desplegados en la red de distribución.

¹⁶ Las definiciones y la Figura proceden de [NISTIR 7761 2013-07-12](#)

FIGURA 1
Ejemplo de red inteligente



Informe SM.2351-01

Una norma inalámbrica determinada puede aplicarse en más de uno de esos ámbitos. Además, en algunas aplicaciones se puede obtener un cierto número de enlaces con soluciones alámbricas.

Se han formulado diversas opiniones (por ejemplo, durante las consultas del Departamento de Energía y Cambio Climático del Reino Unido¹⁷) sobre si las frecuencias utilizadas para las componentes inalámbricas de las comunicaciones de red inteligente deberían encontrarse en bandas atribuidas y protegidas a tal efecto o en bandas no reglamentadas (por ejemplo, bandas exentas de licencia). Debe tenerse en cuenta que los datos de facturación y tarificación se consideran datos personales en varios países y, por consiguiente, están estrictamente protegidos por legislaciones de protección de datos.

Muchas tecnologías inalámbricas ofrecen una fuerte seguridad y privacidad para proteger los datos de usuario en aplicaciones de red inteligente. Por ejemplo, las normas IEEE 802 proporcionan privacidad y seguridad robustas a nivel de enlace, apropiada para proteger datos personales en redes alámbricas e inalámbricas (en bandas con licencia y sin licencia), y las tecnologías 3GPP ofrecen medios para autorización, autenticación, privacidad y seguridad a escala de la red.

6 Normas sobre cables y líneas eléctricas para telecomunicaciones por la red eléctrica

Las redes inteligentes recurrirán a tecnologías alámbricas e inalámbricas para proporcionar los trayectos de conectividad y comunicación necesarios para tratar los ingentes flujos de datos que generan las redes de distribución de servicios públicos.

¹⁷ http://www.decc.gov.uk/en/content/cms/consultations/smart_mtr_imp/smart_mtr_imp.aspx

6.1 Comunicaciones de red eléctrica por las líneas eléctricas

Al principio se contemplaron las comunicaciones/telecomunicaciones por línea eléctrica (PLC), partiendo de la hipótesis simplista de que el propio tendido eléctrico ofrecía una conectividad ubicua en todos los puntos de la red de abastecimiento eléctrico y que los datos necesarios se podían enviar de un extremo a otro de las propias líneas eléctricas, pero se ignoraron algunos puntos importantes como la atenuación y el ruido en las líneas eléctricas, el encaminamiento de las señales por la red y, sobre todo la integridad de los datos.

La intervención del UIT-T en las PLC se debió a que se pensaba que, si bien el tendido eléctrico se utilizaba cada vez más para transmitir datos, las líneas eléctricas no estaban diseñadas ni concebidas para las comunicaciones. En particular, el UIT T tenía inquietudes con respecto a los cables no blindados y sin trenzar utilizados para transportar electricidad, que están sujetos a fuertes interferencias de todo tipo¹⁸; muchos dispositivos eléctricos también son fuentes de ruido en los cables.

Dada la sensibilidad de la comunicación por línea eléctrica a las interferencias, desde 2010 la Comisión de Estudio 15 del UIT-T ha desarrollado tecnologías avanzadas de comunicaciones y mitigación del ruido para aplicaciones PLC de uso general en la familia de Recomendaciones UIT-T G.9960. Más recientemente, el UIT-T ha desarrollado un conjunto de tecnologías de comunicaciones de banda estrecha por línea eléctrica (*narrow band power line communications*, NB-PLC) en la familia de Recomendaciones UIT-T G.990x (G.9901, G.9902, G.9903, G.9904) (ex G.9955) que han sido concebidas específicamente para conectividad y comunicaciones por red inteligente. Se ha demostrado que dos de esas Recomendaciones (G.9903 y G.9904) cumplen su cometido en instalaciones efectuadas en varios países de Europa, Asia y las Américas. La Asociación de normas IEEE tiene normas que utilizan PLC para aplicaciones de red inteligente, como por ejemplo la norma IEEE 1901.2-2013.

Las gamas de frecuencias definidas para NB-PLC en la familia de Recomendaciones UIT-T G.990x (ex. G.9955) (véase el Cuadro 2 de G.9901, G.9902, G.9903, G.9904) son las que ya están designadas para uso por PLT, en Europa por el CENELEC¹⁹ y la CEPT²⁰, para EE.UU. por la FCC, y para Japón por ARIB. Además, los límites de interferencia conducida y radiada fijados en la familia de Recomendaciones UIT-T G.990x cumplen la norma CEI CISPR 22, «Information technology equipment – Radio disturbance characteristics – Limits and methods of measurement», y también la norma CENELEC EN 50065-1 (2011) para frecuencias por debajo de 148,5 kHz.

¹⁸ Véase el § 5.1.2 del Documento informativo del UIT-T en <http://www.itu.int/pub/T-TUT-HOME-2010/en>

¹⁹ [European Committee for Electrotechnical Standardization](#)

²⁰ [European Conference of Postal and Telecommunications Administrations](#)

CUADRO 2

**Recomendaciones UIT-T relacionadas con las comunicaciones
de la red eléctrica inteligente**

Recomendación N.º	Título de la Recomendación
G.9901	<u>Transceptores de comunicación por líneas de alimentación de energía eléctrica OFDM de banda estrecha – Especificación de densidad espectral de potencia (PSD)</u>
<u>G.9902</u>	<u>Transceptores de comunicación de banda estrecha por la red de suministro eléctrico con multiplexación por división ortogonal de frecuencia – G3-PLC</u>
<u>G.9903</u>	<u>Transceptores de comunicación de banda estrecha por la red de suministro eléctrico con multiplexación por división ortogonal de frecuencia – G3-PLC</u>
<u>G.9904</u>	<u>Transceptores de comunicación de banda estrecha por la red de suministro eléctrico con multiplexación por división ortogonal de frecuencia – PRIME</u>
<u>G.9905</u>	<u>Encaminamiento de origen centralizado basado en unidades métricas</u>
<u>G.9959</u>	<u>Transceptores de radiocomunicación digital de corto alcance y banda estrecha – Especificaciones de las capas PHY y MAC</u>

Las gamas de frecuencias utilizadas en la familia de Recomendaciones UIT-T G.990x para NB-PLC/redes inteligentes utilizan por consiguiente prácticas idóneas para evitar incompatibilidades con servicios de radiocomunicaciones que podrían aparecer con el despliegue ubicuo de PLT para comunicaciones de red inteligente. Ahora bien, otras organizaciones de normalización (SDO) y grupos industriales ajenos a la UIT se interesan por elaborar productos PLT para aplicaciones de red inteligente, y podrían necesitar tener debidamente en cuenta requisitos de compatibilidad.

6.2 Comunicaciones de la red eléctrica inteligente por redes de cable

Además de las telecomunicaciones por la línea eléctrica, se utilizan frecuentemente soluciones por cable tradicionales, como fibra óptica y cobre, para redes de área extensa cuando se dispone de derechos de paso.

Estos enlaces se pueden desplegar directamente por el proveedor de servicio público sobre los activos de transmisión y distribución, enterrados en zanjas o canalizaciones en el derecho de paso, o el operador puede arrendarlas.

Se especifica el funcionamiento de la red de área local IEEE Std 802.3 Ethernet para velocidades de funcionamiento seleccionadas de 1 Mbit/s a 100 Gbit/s por diversos medios ópticos y de cobre especializados para uso separado en diversas distancias:

- IEEE 802.3 EPON.
- IEEE 802.3 Ethernet en el primer kilómetro.

Los enlaces Ethernet alámbricos suelen estar concebidos para cumplir los códigos locales y nacionales para la limitación de las interferencias electromagnéticas de sistemas no transmisores.

7 Normas inalámbricas para telecomunicaciones de la red eléctrica inteligente

7.1 Red doméstica

Existen diversas soluciones de conexión en red que ya se utilizan para HAN, dependiendo de las necesidades energéticas, la velocidad de datos, la movilidad y los costes de instalación. Las HAN más comunes que utilizan soluciones por cable son IEEE 802.3 (Ethernet); para soluciones inalámbricas las más utilizadas son la IEEE 802.11 (Wi-Fi), IEEE 802.15.4 (ZigBee, Thread, Wi-SUN EchoNet HAN), UIT-T G.9959 (Z-Wave).

Las tecnologías inalámbricas permiten crear una red inteligente para todos los servicios públicos y conectarlos fácil y directamente a una infraestructura basada en IP cuando consideraciones de seguridad eléctrica o jurídicas impiden conexiones alámbricas directas, como por ejemplo cuando se trata de medidores de gas o de agua.

El UIT-T ha elaborado la Recomendación UIT-T G.9959, *Transceptores de radiocomunicación digital de corto alcance y banda estrecha*, sobre funcionalidad LAN inalámbrica de banda estrecha adecuada para aplicaciones de red inteligente. Durante las primeras etapas de ese trabajo hubo algunos debates entre el UIT-R y el UIT-T sobre las bandas de frecuencias adecuadas para esas aplicaciones. Se trataba de las ventajas y los inconvenientes que entrañaría la identificación de frecuencias en bandas sujetas a ciertas formas de control normativo de las administraciones o en bandas designadas para ISM, o designadas a escala regional o nacional para uso libre, es decir sin necesidad de licencia individual. Gran parte del debate giró en torno a inquietudes de seguridad y fiabilidad con respecto a redes que están libremente disponibles para diversos usos no reglamentados, ya que las comunicaciones de red inteligente pueden contener datos de facturación y personales.

Se ha determinado que varias frecuencias en bandas alrededor de 900 MHz, según designaciones nacionales y regionales para uso no reglamentado, son adecuadas para uso con arreglo a la Recomendación UIT-T G.9959, de las cuales sólo dos, en la Región 2, están en una banda designada para uso por aplicaciones ISM. Uno de los criterios de diseño de los transceptores conformes a G.9959 es que deberían soportar 1, 2 ó 3 canales (estando cada canal asociado con una frecuencia central), dependiendo de la disponibilidad de canales en el país/región de que se trate.

En lo que respecta a la elección e idoneidad de frecuencias mundiales para G.9959, el requisito básico para G.9959 es que sea retrocompatible con la tecnología Z-Wave²¹ que funciona en el terreno desde hace más de 10 años. Cuando se contemple la asignación de nuevas frecuencias para uso por G.9959, deberá tenerse en cuenta que eso puede volver futuros productos basados en G.9959 incompatibles con dispositivos Z-Wave existentes y, por consiguiente, impedir que nuevos dispositivos G.9959 aprovechen el extenso ecosistema interoperable que ya existe. Las necesidades de espectro futuras de la G.9959 y tecnologías similares para la red eléctrica inteligente podrían convertirse en un tema de la CMR-23 en el marco del punto 2.5 del orden del día.

También debe señalarse que IEEE 802.11 e IEEE 802.15.4 se utilizan ampliamente para aplicaciones HAN y que tanto los sistemas basados en G.9959 como los basados en la IEEE 802.15.4 pueden emplear saltos de frecuencia y enrutamiento en malla si la transmisión directa no es posible a causa de largas distancias, atenuación, distorsión o interferencias temporales. Esto aumenta la robustez del sistema cuando funciona en bandas sin licencia.

²¹ Z-Wave es una tecnología inalámbrica de baja potencia y bajo coste que permite productos de grado de consumidor con características de red. Se trata, por ejemplo, de variado es de luz controlados a distancia, sensores de temperatura conectados en red, cerraduras electrónicas y sistemas AV. Un nodo compatible con Z-Wave funcionará en las bandas RF sin licencia tales como las bandas ISM.
(http://www.z-wave.com/what_is_z-wave)

Además de las consideraciones de gestión del espectro y compatibilidad que incumben al UIT-R, también habrá que considerar cuestiones legislativas, de privacidad y seguridad en los foros apropiados sobre la integridad de los dispositivos inalámbricos utilizados en redes inteligentes. Esas consideraciones podrían tener consecuencias en la identificación de frecuencias para uso en comunicaciones inalámbricas de red inteligente, y en particular la necesidad de evitar interceptaciones, robos de identidad, corrupción o pérdida de datos en relación con datos de tarificación y facturación.

Todas las normas inalámbricas mencionadas en esta sección incluyen encriptación para ofrecer privacidad y seguridad. La posibilidad de interferencia es una consecuencia inevitable de la utilización del espectro no sujeto a reglamentación, como las licencias individuales. Por regla general, las aplicaciones HAN no requieren una gran fiabilidad. Las aplicaciones WAN y FAN que utilizan conexiones inalámbricas que requieren gran fiabilidad y disponibilidad resultan más adecuadas en partes del espectro sujetas a licencia individual, normas obligatorias u otras formas de reglamentación.

7.2 WAN/NAN/FAN

Las redes de comunicación WAN/NAN/FAN tienen en común la necesidad de transmitir datos desde distancias relativamente grandes (vecindarios, ciudades) hasta centros de operaciones. Esas redes pueden prestar servicio directamente al nodo final o servir de retroceso. El tipo de solución seleccionado depende de numerosas consideraciones como, entre otras:

- Longitud del enlace.
- Disponibilidad de derecho de paso (para soluciones cableadas).
- Capacidad del enlace.
- Dispositivos no conectados a la red eléctrica.
- Disponibilidad.
- Fiabilidad.
- Espectro regulado (por ejemplo, con licencia) o no regulado (exento de licencia).

El Comité de normas LAN/MAN IEEE 802 ha elaborado varias normas que se utilizan para soportar aplicaciones de red inteligente.

Estas soluciones comprenden:

- Normas inalámbricas que soportan transmisiones inalámbricas de punto a multipunto:
 - IEEE 802.11
 - IEEE 802.16
 - IEEE 802.20
 - IEEE 802.22
- Normas inalámbricas que soportan redes inalámbricas en malla:
 - IEEE 802.15.4
 - IEEE 802.11

También pueden contribuir a requisitos de red inteligente otras tecnologías de comunicaciones inalámbricas tales como tecnologías celulares y radiodifusión sonora. Redes celulares bajo responsabilidad 3GPP (es decir, GSM/EDGE, WCDMA/HSPA y LTE) han pasado de proporcionar servicios telefónicos a soportar numerosas aplicaciones de datos, con seguridad incorporada y apoyo de calidad de servicio. En versiones recientes de 3GPP, también se han introducido mejoras de normalización para comunicación de tipo máquina (MTC), incluido soporte para control de congestión, vida útil mejorada de las baterías, dispositivos de ultrabaja complejidad, un número creciente de dispositivos y una cobertura en interiores mejorada según se detalla en el Capítulo 9.

Medidores inteligentes están disponibles con funciones individuales de supervisión y control proporcionadas utilizando tecnología 3GPP. Por otra parte, se llevan utilizando desde hace decenios subportadoras inaudibles para conmutación simple de área extensa entre medidores de tarificación utilizando redes de radiodifusión FM en EEUU y el servicio de radiodifusión de cobertura nacional LF en 198 kHz en el Reino Unido. El Comité de normas LAN/MAN IEEE 802 ha elaborado varias normas que se utilizan para soportar aplicaciones de red inteligente.

8 Consideraciones sobre la interferencia asociada con el despliegue de tecnologías alámbricas e inalámbricas de transmisión de datos que se emplean en sistemas de gestión de la red eléctrica

El Comité de normas LAN/MAN IEEE 802 ha desarrollado numerosas tecnologías inalámbricas que han demostrado ser resistentes a las interferencias y permiten una gestión de la red eléctrica sin causar interferencias a otras.

Características típicas de la familia de normas IEEE 802:

- Por ejemplo, IEEE 802.11 (Wi-Fi™) e IEEE 802.15.1 (Bluetooth™) demuestran desde hace años que pueden coexistir funcionando en la misma banda.
- Aunque se desplegarán miles de dispositivos de red inteligente, sus necesidades de velocidad de datos pueden ser limitadas y es muy probable que todos los dispositivos no transmitan al mismo tiempo. Por consiguiente, pueden compartir eficazmente el mismo espectro.
- Reguladores como la Federal Communications Commission y Ofcom (Reino Unido) han propuesto límites de emisión estrictos para varias bandas, que deben ser respetados escrupulosamente para que se puedan utilizar esas bandas.
- Nuevas tecnologías cognitivas de compartición radioeléctrica desarrolladas en las normas IEEE 802 (por ejemplo, IEEE 802.22-2011™, también llamada Wi-FAR™) pueden utilizar eficazmente el espectro sin perjudicar a otros usuarios primarios que funcionan en esas bandas o en bandas adyacentes.
- Las características incorporadas en las normas IEEE 802, tales como detección del espectro, etiqueta del espectro, gestión de disposición de canales y coexistencia garantizarán interferencias mínimas entre ellas y con otras.

Las tecnologías 3GPP celulares utilizan bandas de espectro con licencia y, por lo tanto, tienen una interferencia controlada. Además, se utilizan técnicas avanzadas de gestión de la interferencia para múltiples dispositivos, tales como la cancelación mejorada de interferencias.

Las soluciones 3GPP proporcionan tecnologías celulares de redes de telecomunicaciones, incluidos acceso radioeléctrico, red de transporte central y capacidades de servicio, incluidos trabajos sobre códecs, seguridad, calidad de servicio, y por lo tanto proporcionan especificaciones de sistema completas. Las especificaciones también proporcionan conexiones para acceso no radioeléctrico a la red central, y para interfuncionamiento con redes Wi-Fi.

Finalidad principal de todas las versiones de 3GPP:

- Lograr que el sistema sea compatible con versiones anteriores y futuras siempre que sea posible, para garantizar un funcionamiento ininterrumpido de los equipos de usuario.
- Realizar estudios exhaustivos de coexistencia y desarrollar especificaciones para garantizar la compartición de bandas de frecuencias por sistemas que utilizan tecnologías de acceso 3GPP diferentes, con un impacto mínimo en la calidad de funcionamiento.
- Cumplir requisitos globales de reglamentación de las emisiones.
- Proporcionar y mantener tecnologías de acceso que soportan numerosas velocidades y capacidades de datos.

Además, las tecnologías 3GPP pueden recurrir a diversas técnicas, tales como el salto de frecuencias, para aumentar la protección contra interferencias y reducir la interferencia causada a otros sistemas que funcionan en la misma banda. Las tecnologías también utilizan técnicas de planificación y coordinación de interferencias, tales como la planificación de frecuencias a escala de todo el sistema, y la coordinación de interferencias intercelulares para garantizar una utilización eficiente del espectro. También se utiliza la supresión avanzada de interferencias en los receptores, lo cual aumenta la protección contra las interferencias.

3GPP2 ha desarrollado numerosas tecnologías inalámbricas que han demostrado ser resistentes a las interferencias y permiten una gestión de la red eléctrica sin causar interferencias a otras. La familia de normas 3GPP2 cdma2000 multiportadoras comprende:

- cdma2000 1x.
- cdma2000 datos en modo paquete de alta velocidad (HRPD/EV-DO).
- Paquetes de datos de alta velocidad extendida (xHRPD).

La UIT reconoce que la familia de normas 3GPP2 cdma2000 multiportadoras es una tecnología IMT documentada en la Recomendación UIT-R M.1457. Características típicas de la familia de normas 3GPP2 cdma2000 multiportadoras:

- Tecnología comprobada con control de acceso avanzado para soportar un gran número de usuarios en modos de acceso aleatorio y de tráfico con interferencias mínimas.
- Desplegada ya en todo el mundo para proporcionar conectividad a zonas geográficas extensas.
- Cada estación de base está concebida para una gran zona de cobertura.
- Un conjunto completo de especificaciones, incluidas especificaciones de red, seguridad, prueba y calidad de funcionamiento.

9 Impacto del despliegue generalizado de redes alámbricas e inalámbricas utilizadas para sistemas de gestión de redes eléctricas en la disponibilidad del espectro

Uno de los objetivos de las tecnologías inalámbricas celulares 3GPP y de la familia de normas IEEE 802 es que la interferencia asociada con el despliegue generalizado de esos dispositivos y tecnologías no afecte a la disponibilidad del espectro.

Se trata de una consideración vital, dado que:

- Están instalados actualmente en diversos países y regiones, como Europa, Australia y Norteamérica, millones de dispositivos inalámbricos de red inteligente que funcionan en el mismo espectro compartido. El número de esas instalaciones aumenta, y hay más planificadas en esas regiones geográficas porque han tenido éxito y son eficaces.
- La utilización de dispositivos inalámbricos móviles de consumo general se ha generalizado en todo el mundo. Cada dispositivo puede transferir gigabytes de datos cada mes. La utilización de datos por dispositivos inalámbricos de red inteligente es muchas veces más reducida. El espectro con licencia, que es gestionado por empresas inalámbricas, puede admitir fácilmente ese aumento de tráfico.
- Normativas existentes de Reguladores como la Federal Communications Commission y Ofcom (Reino Unido) permiten que millones de dispositivos inalámbricos de red inteligente funcionen satisfactoriamente sin perjudicarse unos a otros.
- Las normas inalámbricas IEEE 802 recurren a diversas tecnologías como, por ejemplo, saltos de frecuencia, enrutamiento en malla, fragmentación, codificación y alta velocidad de ráfagas, que permite crear redes inalámbricas de red inteligente fiables. Además, las redes inalámbricas de red inteligente son resistentes a roturas de enlaces y cortes de corriente.

- Las tecnologías inalámbricas celulares 3GPP recurren a diversas técnicas tales como modulación y codificación de alto nivel, atribución de bloques de recursos, cancelación y mitigación de interferencias, y MIMO para utilizar eficazmente el espectro atribuido. Además, multipunto coordinado ofrece una robustez adicional.
- Nuevas tecnologías cognitivas de compartición radioeléctrica desarrolladas en las normas IEEE 802 pueden utilizar eficazmente el espectro sin perjudicar a otros usuarios primarios que funcionan en esas bandas o en bandas adyacentes.
- Las características incorporadas en las normas IEEE 802, tales como detección del espectro, etiqueta del espectro, gestión de disposición de canales y coexistencia garantizarán interferencias mínimas entre ellas y con otras.
- Las tecnologías inalámbricas celulares 3GPP evolucionan constantemente y en la versión 13 de 3GPP se han introducido nuevas características pertinentes para redes inteligentes, a fin de dar soporte a:
 - una pérdida máxima de acoplamiento de 164 dB;
 - funcionamiento durante al menos 10 años con una batería de 5 Wh (vatios por hora) para modelos de tráfico caracterizados por pequeñas transmisiones de datos poco frecuentes;
 - una latencia de al menos 10 segundos para la transmisión de un pequeño paquete incluso en la periferia del sistema, esto es, con una pérdida de acoplamiento de 164 dB;
 - capacidad para dar soporte al menos a 60 000 dispositivos por kilómetro cuadrado;
 - transmisión segura de paquetes de datos mediante el uso de la encriptación y la protección de la integridad;
 - sistema y dispositivo de baja complejidad para facilitar el apoyo a una amplia gama de aplicaciones de las MTC.
- Los enlaces Ethernet alámbricos no utilizan espectro inalámbrico y suelen estar concebidos para cumplir los códigos locales y nacionales aplicables para la limitación de las interferencias electromagnéticas de sistemas no transmisores. Por consiguiente, la utilización de Ethernet no debería dar lugar a consideraciones adicionales sobre la interferencia causada a las radiocomunicaciones en la implementación de tecnologías y dispositivos alámbricos e inalámbricos utilizados en apoyo de sistemas de gestión de red eléctrica.

Uno de los objetivos de la familia de normas 3GPP es que la interferencia asociada con el despliegue generalizado de esos dispositivos y tecnologías no afecte a la disponibilidad del espectro, considerando:

- el despliegue mundial generalizado de sistemas que proporcionan itinerancia mundial a millones de equipos de usuario;
- la cobertura fiable de las redes celulares prácticamente en el mundo entero.

10 Conclusión

Las redes de comunicación bidireccional de alta capacidad que emplean tecnologías de telecomunicaciones inalámbricas, PLT o de otro tipo que acoplan sensores y medidores inteligentes pueden transformar redes existentes de distribución de servicios públicos en redes inteligentes.

En principio, gracias a la medición inteligente y a las comunicaciones por redes inteligentes, los consumidores podrán controlar y cambiar sus costumbres de consumo en beneficio propio. Los servicios públicos también podrán introducir en tiempo real medidas de tarificación en las que las tasas se puedan ajustar continuamente para tener en cuenta consideraciones de demanda total y de integridad de las redes de distribución. También será posible, en principio, regular la demanda de clases particulares de aparatos domésticos y equipos industriales muy utilizados.

El objetivo global es que se puedan supervisar y controlar esas redes interactivas de red inteligente para aumentar la eficiencia, fiabilidad y seguridad de las redes de distribución de electricidad, gas y agua, garantizando a los consumidores un abastecimiento continuo.

Anexo 1

Ejemplos de normas existentes relativas a sistemas de gestión de redes eléctricas

A1.1 Normas del IEEE

La norma IEEE 802 contiene varias normas inalámbricas aplicables a aplicaciones del primer kilómetro para sistemas de gestión de redes eléctricas. En los cuadros siguientes se resumen las características técnicas y operacionales de las normas inalámbricas IEEE 802 pertinentes.

NOTA – Véase el Cuadro 2 de la Recomendación UIT-R M.1450, donde figuran los parámetros técnicos relacionados con la norma IEEE 802.11.

CUADRO A1.1

Características técnicas y operacionales de la norma IEEE 802.11

Ítem	802.11	802.11ah ²²		802.11n	802.11ac
		Modelo 1 ²³	Modelo 2 ²⁴		
Bandas de frecuencias soportadas (con o sin licencia)	2,4 GHz	900 MHz	900 MHz	2.4 GHz	5 GHz
Gama de funcionamiento nominal	1,5 km	2 km	2 km	0,25 km	0,14 km
Capacidad de movilidad (nómada/móvil)	Nómada y móvil	Nómada	Nómada	Nómada y móvil	Nómada y móvil
Velocidad de datos de cresta (enlace ascendente/descendente si es diferente)	2 Mb/s	156 Mb/s	1,3 Mb/s	600 Mb/s	6 934 Mb/s
Método dúplex (FDD, TDD, etc.)	TDD				
Anchura de banda del canal RF nominal	20 MHz	1, 2, 4, 8, 16 MHz	2 MHz	20, 40 MHz	20, 40, 80, 160 MHz

²² IEEE P802.11ah es un proyecto que se ha terminado efectivamente, pero que en el momento de realizar esta publicación está a la espera de los resultados del proceso de aprobación.

²³ El Modelo 1 es una descripción de familia + modelo para interiores.

²⁴ El Modelo 2 es un modelo operacional específico + modelo para exteriores.

CUADRO A1.1 (*fin*)

Ítem	802.11	802.11ah ²⁵		802.11n	802.11ac
		Modelo 1 ²⁶	Modelo 2 ²⁷		
Técnicas de diversidad	Espacio temporal				
Soporta MIMO (sí/no)	No	Sí	No	Sí	Sí
Soporta formación de haz	No	Sí	Sí	Sí	Sí
Retransmisión	Petición automática de repetición (ARQ)				
Corrección de errores en recepción	Sí	Convolutacional y LDPC	Convolutacional y LDPC	Sí	Sí
Gestión de interferencias	Escuchar antes de hablar	Escuchar antes de hablar y selección de canal de frecuencias	Escuchar antes de hablar y selección de canal de frecuencias	Escuchar antes de hablar	Escuchar antes de hablar
Gestión de potencia	Sí				
Topología de conexión	Punto a punto, multisaltos, estrella				
Métodos de acceso a medios	CSMA/CA				
Múltiples métodos de acceso	CSMA	CSMA/TDMA	CSMA/TDMA	CSMA	CSMA
Método de descubrimiento y asociación	Exploración pasiva y activa				
Métodos QoS	Prioridad de cola radioeléctrica, etiquetado de datos de paso y prioridad de tráfico				
Conocimiento de la ubicación	Sí				
Determinación de la distancia	Sí				
Criptación	AES-128, AES-256				
Autenticación/protección contra reproducción	Sí				
Intercambio de claves	Sí				
Detección de nodos falseados	Sí				
Identificación unívoca de dispositivo	Identificador único de 48 bits				

²⁵ IEEE P802.11ah es un proyecto que se ha terminado efectivamente, pero que en el momento de realizar esta publicación está a la espera de los resultados del proceso de aprobación.

²⁶ El Modelo 1 es una descripción de familia + modelo para interiores.

²⁷ El Modelo 2 es un modelo operacional específico + modelo para exteriores.

CUADRO A1.2

Características técnicas y operacionales de la norma IEEE 802.15.4

Ítem	Valor
Bandas de frecuencias soportadas, con o sin licencia (MHz)	Sin licencia: 169, 450-510, 779-787, 863-870, 902-928, 950-958, 2 400-2 483,5 Con licencia: 220, 400-1000, 1427
Gama de funcionamiento nominal	OFDM – 2 km MR-FSK – 5 km DSSS – 0,1 km
Capacidades de movilidad (nómada/móvil)	Nómada y móvil
Velocidad de datos de cresta (enlace ascendente/descendente si es diferente)	OFDM – 860 kb/s MR-FSK – 400 kb/s DSSS – 250 kb/s
Método dúplex (FDD, TDD, etc.)	TDD
Ancho de banda RF nominal	OFDM – Gamas de 200 kHz a 1,2 MHz MR-FSK – Gamas de 12 kHz a 400 kHz DSSS – 5 MHz
Técnicas de diversidad	Espacio temporal
Soporte para MIMO (sí/no)	No
Orientación/conformación de haz	No
Retransmisión	ARQ
Corrección de errores en recepción	Convolucional
Gestión de interferencias	Escuchar antes de hablar, selección de canal de frecuencias, espectro ensanchado con saltos de frecuencia, agilidad de frecuencia
Gestión de potencia	Sí
Topología de conexión	Punto a punto, multisaltos, estrella
Métodos de acceso a medios	CSMA/CA
Múltiples métodos de acceso	CSMA/TDMA/FDMA (en sistemas de saltos)
Método de descubrimiento y asociación	Exploración activa y pasiva
Métodos QoS	Etiquetado de datos de paso y prioridad de tráfico
Conocimiento de la ubicación	Sí
Determinación de la distancia	Sí
Criptación	AES-128
Autenticación/protección contra reproducción	Sí
Intercambio de claves	Sí
Detección de nodos falseados	Sí
Identificación unívoca de dispositivo	Identificador único de 48 bits

CUADRO A1.3

Características de la norma IEEE 802.16

Ítem	Valor
Bandas de frecuencias soportadas (con o sin licencia)	Bandas de frecuencias con licencia entre 200 MHz y 6 GHz
Gama de funcionamiento nominal	Optimizado para un alcance de hasta 5 km en un entorno PMP típico, funcional hasta 100 km
Capacidades de movilidad (nómada/móvil)	Nómada y móvil
Velocidad de datos de cresta (enlace ascendente/descendente si es diferente)	802.16-2012: 34,6UL/60DL Mbit/s con 1 antena Tx BS (10 MHz BW), 69,2 UL/120DL Mbit/s con 2 antenas Tx BS (10 MHz BW). 802.16.1-2012: 66,7UL/120DL Mbit/s con 2 antenas Tx BS (10 MHz BW), 137UL/240DL Mbit/s con 4 antenas Tx BS (10 MHz BW)
Método dúplex (FDD, TDD, etc.)	Definido por TDD y FDD, TDD utilizado más comúnmente, TDD adaptativo para tráfico asimétrico
Ancho de banda RF nominal	Seleccionable: 1,25 MHz a 10 MHz
Técnicas de diversidad	Espacio-temporal
Soporte para MIMO (sí/no)	Sí
Orientación/conformación de haz	Sí
Retransmisión	Sí (ARQ y ARQ híbrida (HARQ))
Corrección de errores en recepción	Sí (codificación convolucional)
Gestión de interferencias	Sí (reutilización fraccional de frecuencias)
Gestión de potencia	Sí
Topología de conexión	Punto a multipunto, punto a punto, retransmisión multisaltos
Métodos de acceso a medios	Contienda coordinada seguida por QoS orientada a conexión es soportada mediante la utilización de 5 disciplinas de servicio
Múltiples métodos de acceso	OFDMA
Método de descubrimiento y asociación	Descubrimiento autónomo, asociación a través de CID/SFID
Métodos QoS	Diferenciación QoS (5 clases soportadas), y soporte QoS orientado a conexión
Conocimiento de la ubicación	Sí
Determinación de la distancia	Opcional
Criptación	AES128 – CCM y CTR
Autenticación/protección contra reproducción	Sí
Intercambio de claves	PKMv2 (§ 7.2.2)
Nodos fraudulentos	Sí, código cifrado de autenticación de mensaje (CMAC)/código de autenticación de mensaje troceado (HMAC), derivación de clave para protección de integridad de mensajes de control. Además ICV de AES-CCM para protección de integridad de MPDU
Identificación unívoca de dispositivo	Dirección MAC, certificados X.509, tarjeta SIM opcional

CUADRO A1.4

Características técnicas y operacionales de la norma IEEE 802.20 625k-MC

Ítem	Valor
Bandas de frecuencias soportadas (con o sin licencia)	Bandas con licencia por debajo de 3,5 GHz
Gama de funcionamiento nominal	12,7 km (máx.)
Capacidades de movilidad (nómada/móvil)	Móvil
Velocidad de datos de cresta (enlace ascendente/descendente si es diferente)	Velocidades de cresta de datos de usuario de enlace descendente de 1 493 Mbit/s y velocidades de cresta de datos de usuario de enlace ascendente de 571 kbit/s en un ancho de banda de portadora de 625 kHz.
Método dúplex (FDD, TDD, etc.)	TDD
Ancho de banda RF nominal	2,5 MHz (acomoda cuatro portadoras separadas 625 kHz), 5 MHz (acomoda ocho portadoras separadas 625 kHz)
Velocidad de modulación/codificación – ascendente y descendente	Modulación y codificación adaptativas, BPSK, QPSK, 8-PSK, 12-PSK, 16QAM, 24QAM, 32QAM y 64QAM
Técnicas de diversidad	Diversidad espacial
Soporte para MIMO (sí/no)	Sí
Orientación/conformación de haz	Selectividad de canal espacial y procesamiento adaptativo
Retransmisión	ARQ rápida
Corrección de errores en recepción	Bloqueo y codificación convolucional/decodificación Viterbi
Gestión de interferencias	Procesamiento adaptativo de señal de antena
Gestión de potencia	Sistema adaptativo de control de potencia (bucle abierto y cerrado). El control de potencia mejorará la capacidad de la red y reducirá el consumo de potencia en los enlaces ascendente y descendente
Topología de conexión	Punto a multipunto
Métodos de acceso a medios	Acceso aleatorio, TDMA-TDD
Múltiples métodos de acceso	FDMA-TDMA-SDMA
Método de descubrimiento y asociación	Por autenticación mutua BS-UT
Métodos QoS	El modo 625k-MC define las tres clases de QoS que implementan el modelo Diffserv del IETF: reenvío acelerado (EF), reenvío asegurado (AF) y encaminamiento sin garantías (BE). Comportamientos por salto basados en los puntos de código Diffserv (DSCP)
Conocimiento de la ubicación	Sí
Determinación de la distancia	Sí
Criptación	Criptación de tren RC4 y AES
Autenticación/protección contra reproducción	Autenticación BS y autenticación UT basadas en la utilización de certificados digitales firmados conforme a la norma ISO/CEI 9796 utilizando el algoritmo Rivest, Shamir and Adleman (RSA)
Intercambio de claves	Criptografía de curva elíptica (utilizando las curvas K-163 y K-233 en la norma FIPS-186-2)

CUADRO A1.4 (*fin*)**Características técnicas y operacionales de la norma IEEE 802.20 625k-MC**

Ítem	Valor
Detección de nodos falseados	Protegido contra nodos fraudulentos
Identificación unívoca de dispositivo	Sí

CUADRO A1.5

Características técnicas y operacionales de la norma IEEE 802.22

Ítem	Valor
Bandas de frecuencias soportadas (con o sin licencia)	54-862 MHz
Gama de funcionamiento nominal	Optimizada para un alcance de hasta 30 km en entornos típicos punto a multipunto (PMP), funcional hasta 100 km
Capacidades de movilidad (nómada/móvil)	Nómada y móvil
Velocidad de datos de cresta (enlace ascendente/descendente si es diferente)	22-29 Mb/s, superior a 40 Mb/s con MIMO
Método dúplex (FDD, TDD, etc.)	TDD
Ancho de banda RF nominal	6, 7 u 8 MHz
Técnicas de diversidad	Espacio, tiempo, códigos de bloques, multiplexión espacial
Soporte para MIMO (sí/no)	Sí
Orientación/conformación de haz	Sí
Retransmisión	ARQ, HARQ
Corrección de errores en recepción	Convolucional, turbo y LDPC
Gestión de interferencias	Sí
Gestión de potencia	Sí, diversos estados de baja potencia
Topología de conexión	Punto a multipunto
Métodos de acceso a medios	TDMA/TDD OFDMA, MAC basada en reserva
Múltiples métodos de acceso	OFDMA
Método de descubrimiento y asociación	Sí, a través de dispositivos MAC ID, CID y SFID
Métodos QoS	Diferenciación QoS (5 clases soportadas), y soporte QoS orientado a conexión
Conocimiento de la ubicación	Geolocalización
Determinación de la distancia	Sí
Criptación	AES128 – CCM, ECC y TLS
Autenticación/protección contra reproducción	AES128 – CCM, ECC, EAP y TLS, protección contra reproducción mediante criptación, autenticación, así como etiquetado de paquetes
Intercambio de claves	Sí, PKMv2
Detección de nodos falseados	Sí
Identificación unívoca de dispositivo	Identificador único de dispositivo de 48 bits, certificado X.509

A1.2 Normas del UIT-T

La familia de Recomendaciones UIT-T G.990x (G.9901, G.9902, G.9903, G.9904) sobre NB-PLC se ha elaborado para soportar conectividad y comunicaciones de red inteligente. En los cuadros siguientes se resumen las características técnicas y operacionales de las dos tecnologías NB-PLC especificadas en el UIT-T y probadas en el terreno.

CUADRO A1.6

Características técnicas y operacionales de las Recomendaciones UIT-T G.9903 y G.9904

Ítem	Valor G.9903	Valor G.9904
Bandas de frecuencias soportadas	35-488 kHz	42-89 kHz
Velocidad de datos de cresta	42 kbit/s	128 kbit/s
Múltiples métodos de acceso	OFDM	OFDM
Corrección de errores en recepción	Reed Solomon, convolucional, aleatorizador, intercalador, código de repetición	Convolucional, aleatorizador, intercalador
Topología de la red	Malla	Árbol
Retransmisión	ARQ	ARQ
Métodos de acceso a medios	CSMA y prioridad	CSMA y exenta de contienda o prioridad
Método de descubrimiento y asociación	Basado en 6loWPAN y EAP-PSK	Procedimiento específico de inscripción de red
Métodos QoS	Diferenciación de QoS con 2 prioridades	Diferenciación de QoS con 4 prioridades
Criptación	AES128 – CCM	AES128 – GCM
Autenticación/protección contra reproducción	Mecanismo de autenticación y protección contra reproducción	Mecanismo de autenticación y protección contra reproducción
Intercambio de claves	Sí	Sí
Identificación unívoca de dispositivo	Identificador único de dispositivo de 64 bits	Identificador único de dispositivo de 64 bits

A1.3 Normas 3GPP

3GPP tiene varias normas inalámbricas aplicables a aplicaciones del primer kilómetro para sistemas de gestión de redes eléctricas. En versiones recientes de las normas 3GPP se han introducido mejoras para las comunicaciones de tipo máquina (*machine type communications* – MTC), por ejemplo:

Versión 10:

- Introducción de la causa de establecimiento de acceso tolerante del retardo e indicación de baja prioridad de acceso para dar soporte al control del sistema en dispositivos MTC con requisitos de latencia relajados. Esto puede resultar especialmente útil en caso de escenarios de sobrecarga (GSM/EDGE, UMTS, HSPA+, LTE).
- Bloqueo de acceso extendido y rechazo implícito para dar soporte a dispositivos de bloqueo de dispositivos tolerantes al retardo configurados para baja prioridad de acceso (GSM/EDGE).

Versión 11:

- Bloqueo de acceso extendido (UMTS, HSPA+, LTE)

Versión 12:

- Modo de ahorro de energía de UE para apoyar baterías de larga vida de hasta varios años en caso de los dispositivos caracterizados por pequeñas transmisiones de datos poco frecuentes (GSM/EDGE, UMTS, HSPA+, LTE)
- Categoría de UE de baja complejidad para permitir coste de dispositivo reducido a fin de dar soporte a la utilización flexible en toda una gama de aplicaciones de MTC (LTE)

Versión 13:

- DRX ampliada para dar soporte a la batería de larga vida al tiempo que se mantiene la accesibilidad terminada en móvil bajo control de red (GSM/EDGE, UMTS, HSPA+, LTE)
- Cobertura ampliada de GSM de Internet de las cosas (EC-GSM-IoT) (GSM/EDGE), mejoras de la capa física de LTE para MTC (eMTC) (LTE), Internet de las cosas de banda estrecha (NB-IoT) para dar soporte dispositivos de baja complejidad, pérdida de acoplamiento de 164 dB, 10 años de vida de la batería, latencia de 10 segundos y una capacidad de sistema de al menos 60 000 dispositivos por kilómetro cuadrado.

En el siguiente Cuadro se facilita un resumen de las características técnicas y operativas, incluidas las mejoras arriba enumeradas para las MTC, de las correspondientes normas 3GPP inalámbrica.

CUADRO A1.7

Características técnicas y operacionales de las tecnologías 3GPP

Característica de funcionalidad	Unidad de medición	GSM/EDGE	EC-GSM-IoT	UMTS	HSPA+	LTE Advanced Pro	eMTC	NB-IoT
Capacidad de establecer fiablemente un enlace de dispositivo apropiado	% de tiempo	Depende del despliegue (típico > 99%)	Depende del despliegue (típico > 99%)	Depende del despliegue (típico > 99%)	Depende del despliegue (típico > 99%)	Depende del despliegue (típico > 99%)	Depende del despliegue (típico > 99%)	Depende del despliegue (típico > 99%)
Capacidad de mantener una conexión apropiada	Tasa de fallo por 1 000 sesiones	Depende del despliegue (típico < 1%)	Depende del despliegue (típico < 1%)	Depende del despliegue (típico < 1%)	Depende del despliegue (típico < 1%)	Depende del despliegue (típico < 1%)	Depende del despliegue (típico < 1%)	Depende del despliegue (típico < 1%)
Voz		Sí	Mensajería de voz soportada	Sí	Sí	Sí	Sí (posiblemente con cobertura reducida)	Mensajería de voz soportada
Datos	Velocidad máxima de datos de usuario por usuario en Gbit/s/Mbit/s/kbit/s	GPRS: 172 kbit/s UL/DL EGPRS: 491 kbit/s UL/DL EGPRS2-A: 811 kbit/s DL 638 kbit/s UL	98 kbit/s UL/DL (teniendo en cuenta las limitaciones de protocolo)	1,92 Mbit/s DL 0,96 Mbit/s UL (asumiendo únicamente la conexión de datos)	294 Mbit/s DL 58,65 Mbit/s UL (asumiendo una reducción del 15% del caudal comparada con la cresta respecto a la velocidad de datos hertzianos)	DL: entre 0,85 Mbit/s y 21,2 Gbit/s dependiendo de la categoría de UE. UL: entre 0,85 Mbit/s y 11,6 Gbit/s dependiendo de la categoría de UE (asumiendo una reducción del 15% del caudal comparada con la cresta respecto a la velocidad de datos hertzianos)	FD-FDD: 800 kbit/s DL 1 Mbit/s UL HD-FDD: 300 kbit/s DL 375 kbit/s UL (teniendo en cuenta las limitaciones de protocolo)	21,3 kbit/s DL 62,5 kbit/s UL (teniendo en cuenta las limitaciones de protocolo)

CUADRO A1.7 (continuación)

Característica de funcionalidad	Unidad de medición	GSM/EDGE	EC-GSM-IoT	UMTS	HSPA+	LTE Advanced Pro	eMTC	NB-IoT
Vídeo		Sí	No	Sí	Sí	Sí	Sí (posiblemente con cobertura reducida)	No
Zona de cobertura geográfica	km ²	Radio de 35 km con avance de temporización normal; radio de 120 km con avance de temporización extendido	Radio de 35 km con avance de temporización normal	Radio de 120 km para células de alcance extendido	Radio de 120 km para células de alcance extendido	Radio de 100 km	Radio de 100 km	Radio de 40 km
Presupuesto de enlace	dB	EGPRS (Veh A50): 146,36/133,39 dB GPRS/EGPRS/E GPRS2-A: 144 dB	164 dB (supone clase de potencia de la EM de 33 dBm. Además, véase 3GPP TR 45.820 para otros supuestos)	Hasta 147 dB	Hasta 147 dB	Hasta 143 dB DL; hasta 133 dB UL	155,7 dB (supone clase de potencia de la UE de 20 dBm. Además, véase 3GPP TR 36.888 para otros supuestos)	164 dB (supone clase de potencia de la UE de 23 dBm. Véase 3GPP TR 45.820 para otros supuestos)
Velocidad máxima de movimiento relativo	km/s	350 km/h	~100 km/h (no hay soporte para el traspaso)	350 km/h	350 km/h	350 km/h	~100 km/h	~100 km/h (no hay soporte para el traspaso)
Doppler máximo	Hz	1 000 con ecualizador de seguimiento de canal		648	648	648	70	

CUADRO A1.7 (continuación)

Característica de funcionalidad	Unidad de medición	GSM/EDGE	EC-GSM-IoT	UMTS	HSPA+	LTE Advanced Pro	eMTC	NB-IoT
Cresta con respecto a la velocidad de datos de enlace ascendente hertziano	Velocidad de datos de cresta instantánea en Gbit/s/Mbit/s/kbit/s	GPRS: 172 kbit/s EGPRS: 491 kbit/s EGPRS2-A: 638 kbit/s (sobre la base del número de bits de información por bloque de radiofrecuencias, véase 3GPP TS 45.003)	491 kbit/s (sobre la base del número de bits de información por bloque de radiofrecuencias, véase 3GPP TS 45.003)	1 024 Mbit/s UL (suponiendo conexiones simultáneas de voz (64 kbit/s) y datos (0,96 Mbit/s))	69 Mbit/s UL (suponiendo dobles portadoras, 64QAM y 2 capas MIMO)	Entre 1 Mbit/s y 13,6 Gbit/s dependiendo de la categoría UE (véase 3GPP TS 36.306 para categorías UE hasta Cat.)	FD-FDD: 1 Mbit/s HD-FDD: 1 Mbit/s (suponiendo Categoría UE M1 (véase 3GPP 36.306))	250 kbit/s (suponiendo Categoría UE NB1 (véase 3GPP 36.306))
Cresta con respecto a la velocidad de datos de enlace descendente hertziano	Velocidad de datos de cresta instantánea en Gbit/s/Mbit/s/kbit/s	GPRS: 172 kbit/s EGPRS: 491 kbit/s EGPRS2-A: 811 kbit/s (sobre la base del número de bits de información por bloque de radiofrecuencias, véase 3GPP TS 45.003.)	491 kbit/s (sobre la base del número de bits de información por bloque de radiofrecuencias, véase 3GPP TS 45.003.)	2 048 Mbit/s UL (suponiendo conexiones simultáneas de voz (128 kbit/s) y datos (1,92 Mbit/s))	346 Mbit/s DL (suponiendo 15 códigos HS-PDSCH, cuatro portadoras, 64QAM y 4 capas MIMO)	Entre 1 Mbit/s y 25 Gbit/s dependiendo de la categoría UE (véase 3GPP TS 36.306 para categorías UE)	FD-FDD: 1 Mbit/s HD-FDD: 1 Mbit/s (suponiendo Categoría UE M1 (véase 3GPP 36.306))	Funcionamiento LTE en banda: 170 kbit/s Funcionamiento autónomo: 226,7 kbit/s (suponiendo Categoría UE NB1 (véase 3GPP 36.306))

CUADRO A1.7 (continuación)

Característica de funcionalidad	Unidad de medición	GSM/EDGE	EC-GSM-IoT	UMTS	HSPA+	LTE Advanced Pro	eMTC	NB-IoT
Velocidad de datos de enlace ascendente, caudal eficaz de cresta	Velocidad de datos de usuario máxima sostenible en Gbit/s/Mbit/s/kbit/s	Véase la fila de datos	Véase la fila de datos	Véase la fila de datos				
Velocidad de datos de enlace descendente, caudal eficaz de cresta	Velocidad de datos de usuario máxima sostenible en Gbit/s/Mbit/s/kbit/s	Véase la fila de datos	Véase la fila de datos	Véase la fila de datos				
Norma radioeléctrica pública que funciona en bandas sin licencia	GHz L/UL	Puede ser explotada, pero no especificada actualmente	Sí (acceso asistido con licencia)	Puede ser explotada, pero no especificada actualmente	Puede ser explotada, pero no especificada actualmente			
Norma radioeléctrica pública que funciona en bandas con licencia	GHz L/UL	Múltiples bandas conforme a 3GPP 45.005	Múltiples bandas conforme a 3GPP 45.005	Múltiples bandas conforme a 3GPP 25.101	Múltiples bandas conforme a 3GPP 25.101	Múltiples bandas conforme a 3GPP 36.101 y 36.104	Múltiples bandas conforme a 3GPP 36.101 y 36.104	Múltiples bandas conforme a 3GPP 36.101 y 36.104
Norma radioeléctrica privada que funciona en bandas con licencia	GHz L/UL	Puede ser explotada, pero no especificada actualmente	Sí, incl. tecnología pulsar para hablar y de dispositivo a dispositivo	Puede ser explotada, pero no especificada actualmente	Puede ser explotada, pero no especificada actualmente			

CUADRO A1.7 (continuación)

Característica de funcionalidad	Unidad de medición	GSM/EDGE	EC-GSM-IoT	UMTS	HSPA+	LTE Advanced Pro	eMTC	NB-IoT
Método dúplex	TDD/FDD	FDD de semidúplex	FDD de semidúplex	FDD y TDD	FDD y TDD	FDD y TDD, incl. FDD de dúplex completo y de semidúplex	FDD y TDD, incl. FDD de dúplex completo y de semidúplex	FDD de semidúplex
Ancho de banda portadora	kHz	200 kHz	200 kHz	5 MHz para FDD	5 MHz para FDD	1,4, 3, 5, 10, 15, 20 MHz Hasta 640 MHz de ancho de banda agregados utilizando agregación de ancho de banda	1,4 MHz	180 kHz
Separación de canales	kHz	200 kHz	200 kHz	5 MHz para FDD	5 MHz para FDD	Separación nominal entre canales = (ancho de banda del canal(1) + ancho de banda del canal(2))/2, siendo ancho de banda del canal(1) y ancho de banda del canal(2) los anchos de banda de las dos portadoras respectivas	Funcionamiento LTE en banda: 1,08 MHz Funcionamiento autónomo: 1,4 MHz	Funcionamiento LTE en banda: 180 kHz Funcionamiento autónomo: 200 kHz
Número de canales no superpuestos en la banda de explotación		Véase 3GPP 45.005	Véase 3GPP 45.005	Véase 3GPP 25.101	Véase 3GPP 25.101	Véase 3GPP 36.101 y 36.104		Véase 3GPP 36.101 y 36.104

CUADRO A1.7 (continuación)

Característica de funcionalidad	Unidad de medición	GSM/EDGE	EC-GSM-IoT	UMTS	HSPA+	LTE Advanced Pro	eMTC	NB-IoT
Eficiencia espectral máxima	bits/sec/Hz	GPRS: 0,86 bit/s/Hz EGPRS: 2,46 bit/s/Hz EGPRS2-A: 4,05 bit/s/Hz DL 3,19 bit/s/Hz UL	2,46 bit/s/Hz	0,2048 bit/s/Hz UL; 0,4096 bit/s/Hz DL	2,2 bit/s/Hz UL; 5,6 bit/s/Hz DL	15 bit/s/Hz UL; 40 bit/s/Hz DL	Funcionamiento LTE en banda: 1,56 bit/s/Hz Funcionamiento autónomo: 1,56 bit/s/Hz	Funcionamiento LTE en banda: 1,39 bit/s/Hz UL 0,94 bit/s/Hz DL Funcionamiento autónomo: 1,25 bit/s/Hz UL 1,13 bit/s/Hz DL
Eficiencia espectral media de célula	bits/s/Hz/célula	1,1760 Mbit/s/MHz/célula (Veh. A50) (EGPRS)	Dependiendo del escenario de despliegue	0,67 DL (con diversidad); 0,47 UL (peatón A)	Dependiendo de la situación de despliegue, los ejemplos de gamas de valores son 1,1-1,6 DL; 0,7-2,3 UL	Dependiendo de la situación de despliegue, los ejemplos de gamas de valores son 1,8-3,2 DL; 0,7-1,05 UL para la versión 8	Dependiendo del escenario de despliegue	Dependiendo del escenario de despliegue
Duración de trama	ms	120/26 ms GPRS de trama TDMA: 20 ms TTI EGPRS/ EGPRS2-A: 10, 20 ms TTI	20-80 ms TTI	10 ms (2 ms TTI)	10 ms (2 ms TTI)	10 ms (1 ms TTI)	10 ms (1 ms TTI)	10 ms (1 ms TTI mínimo)

CUADRO A1.7 (continuación)

Característica de funcionalidad	Unidad de medición	GSM/EDGE	EC-GSM-IoT	UMTS	HSPA+	LTE Advanced Pro	eMTC	NB-IoT
Tamaño máximo de paquete	Bytes	1 560 bytes en la interfaz RLC	1 560 bytes en la interfaz RLC	Ningún tamaño fijo para FDD (depende del nivel de modulación y del número de códigos de canalización); TDD (3,84 Mbit/s) = 12 750 bytes (véase 3GPP 25.321)	42 192 bits por tren en DL; 22 996 bits para UL	8 188 bytes para DL/UL	8 188 bytes para DL/UL	1 600 bytes para DL/UL
Soporte de segmentación	Sí/no	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí
Técnica de diversidad	Antena, polarización, espacio, tiempo	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí
Orientación de haz	Sí/no	No	No	No	Sí	Sí	Sí	No
Retransmisión	ARQ/HARQ	Sí, por ejemplo, ARQ, HARQ – redundancia incremental	Sí, por ejemplo, ARQ, HARQ – redundancia incremental	Sí, por ejemplo, ARQ/HARQ	Sí, por ejemplo, ARQ/HARQ	Sí, por ejemplo, ARQ/HARQ	Sí, por ejemplo, ARQ/HARQ	Sí, por ejemplo, ARQ/HARQ
Técnica de corrección de errores		Codificación convolucional con perforación Turbo añadido en EGPRS2-A	Codificación convolucional con perforación	Codificación convolucional y turbo	Codificación convolucional y turbo	Turbo; convolución en BCH con recorte de cola	Turbo; convolución en BCH con recorte de cola	Convolución en DL con recorte de cola; Turbo en UL
Supresión de interferencia		Sí	Sí	No	Sí	Sí	Sí	Sí

CUADRO A1.7 (continuación)

Característica de funcionalidad	Unidad de medición	GSM/EDGE	EC-GSM-IoT	UMTS	HSPA+	LTE Advanced Pro	eMTC	NB-IoT
Radiofrecuencia de explotación		Múltiples bandas según 3GPP 45.005	Múltiples bandas según 3GPP 45.005	Especificado en 3GPP 25.101	Especificado en 3GPP 25.101	Especificado en 3GPP 36.101	Especificado en 3GPP 36.101	Especificado en 3GPP 36.101
Reintentos		Configurable	Configurable	Configurable	Configurable	Configurable	Configurable	Configurable
Indicación de intensidad de señal recibida (RSSI, <i>receive signal strength indication</i>)		Sí; 64 niveles entre -110 dBm + escala y -48 dBm + escala	EC-GSM-IoT comunica señales útiles recibidas en 75 niveles entre -122 dBm y -48 dBm	Sí; 77 niveles entre -100 dBm y -25 dBm	Sí; 77 niveles entre -100 dBm y -25 dBm	LTE comunica potencia recibida de señal de referencia (RSRP) para células vecinas LTE y de RSSI (77 niveles entre -100 dBm y -25 dBm) para células vecinas HSPA y EDGE. Véase 3GPP TS 36.133.	LTE comunica potencia recibida de señal de referencia (RSRP) para células vecinas LTE. Véase 3GPP TS 36.133.	NB-IoT mide la potencia recibida de señal de referencia (RSRP).
Paquetes perdidos		Depende del punto de explotación pero típicamente RBER residual de 1% después de HARQ	Depende del punto de explotación pero típicamente RBER residual de 1% después de HARQ	RBER residual = 1% después de HARQ	Depende del punto de explotación, pero típicamente RBER residual de 1% después de HARQ	Depende del punto de explotación pero típicamente RBER residual de 1% después de HARQ	Depende del punto de explotación pero típicamente RBER residual de 1% después de HARQ	Depende del punto de explotación pero típicamente RBER residual de 1% después de HARQ
Mecanismos para reducir el consumo energético		Sí, por ejemplo, DTX, DRX, DRX ampliado, modo ahorro de energía y control de potencia	Sí, por ejemplo, DRX ampliado y modo ahorro de energía	Sí, por ejemplo, DTX, DRX, DRX ampliado y modo ahorro de energía	Sí, por ejemplo, DTX, DRX, DRX ampliado y modo ahorro de energía	Sí, por ejemplo, DTX, DRX, DRX ampliado y modo ahorro de energía	Sí, por ejemplo, DRX ampliado, modo ahorro de energía	Sí, por ejemplo, DRX ampliado, modo ahorro de energía

CUADRO A1.7 (continuación)

Característica de funcionalidad	Unidad de medición	GSM/EDGE	EC-GSM-IoT	UMTS	HSPA+	LTE Advanced Pro	eMTC	NB-IoT
Apoyo de estado de baja potencia		Sí, por ejemplo, DRX ampliado, modo ahorro de energía	Sí, por ejemplo, DRX ampliado, modo ahorro de energía	Sí	Sí, por ejemplo, ciclos DTX/DRX más largos en todos los estados	Sí, por ejemplo, DRX ampliado, modo ahorro de energía	Sí, por ejemplo, DRX ampliado, modo ahorro de energía	Sí, por ejemplo, DRX ampliado, modo ahorro de energía
Punto a punto		Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí
Punto a multipunto		Sí	No	Sí	Sí	Sí	No	No
Radiodifusión		Sí	No	Sí	Sí	Sí	ETWS, CMAS, información del tiempo de SIB16	Información del tiempo de SIB16
Traspaso		Sí	No	Sí	Sí	Sí	Sí	No
Método de acceso al medio		TDMA/FDMA con conmutación de circuitos; TDMA/FDMA programado por paquetes	TDMA/FDMA programado por paquetes	CDMA con conmutación de circuitos	CDMA programado por paquetes	OFDMA programado por paquetes	OFDMA programado por paquetes	OFDMA programado por paquetes
Descubrimiento		Canal de sincronización y de difusión	Canal de sincronización y de difusión	Canal de sincronización y de difusión	Canal de sincronización y de difusión	Canal de sincronización y de difusión	Canal de sincronización y de difusión	Canal de sincronización y de difusión
Asociación		Flujo temporal de bloques (TBF)	Flujo temporal de bloques (TBF)	A través de varias RNTI	A través de HRNTI y ERNTI asignados a UE	A través de CRNTI	A través de CRNTI	A través de CRNTI
Prioridad de tráfico	diffserv, re reserv	Prioridades definidas por 3GPP	Prioridades definidas por 3GPP	Prioridades definidas por 3GPP	Prioridades definidas por 3GPP	Prioridades definidas por 3GPP	Prioridades definidas por 3GPP	Prioridades definidas por 3GPP
Prioridad de cola radioeléctrica		Planificador en estación de base	Planificador en estación de base	Sí en el planificador del Nodo B	Sí en el planificador del Nodo B	Sí en el planificador del Nodo B	Sí en el planificador del Nodo B	Sí en el planificador del Nodo B

CUADRO A1.7 (continuación)

Característica de funcionalidad	Unidad de medición	GSM/EDGE	EC-GSM-IoT	UMTS	HSPA+	LTE Advanced Pro	eMTC	NB-IoT
Conocimiento de la ubicación (coordenadas x,y,z)		Métodos aGPS y UTDOA según especificación 3GPP	Método basado en la temporización avanzada según especificación 3GPP	Métodos aGPS y OTDOA según especificación 3GPP	Métodos aGPS y OTDOA según especificación 3GPP	Métodos A-GNSS, OTDOA, E-CID, UTDOA según especificación 3GPP	Métodos A-GNSS, E-CID según especificación 3GPP	Método E-CID según especificación 3GPP
Determinación de la distancia (comunicación de la distancia)								
Criptación	Algoritmos soportados	A5/3, A5/4, GEA3	KASUMI y SNOW 3G	KASUMI	KASUMI y SNOW 3G	SNOW 3G, AES, ZUC	SNOW 3G, AES, ZUC	SNOW 3G, AES, ZUC
Autenticación		UE-a-NW (2G AKA) y mutua (3G AKA)	Mutua	UE-a-NW (2G AKA) y mutua (3G AKA)	UE-a-NW (2G AKA) y mutua (3G AKA)	Mutua	Mutua	Mutua
Protección contra reproducción en el protocolo de intercambio de claves		No (2G AKA) y sí (3G AKA)	Sí	No (2G AKA) y sí (3G AKA)	No (2G AKA) y sí (3G AKA)	Sí	Sí	Sí
Intercambio de claves	Protocolos y algoritmos soportados	Patentado, 2G MILENAGE (2G AKA) y patentado, MILENAGE, TUAK (3G AKA)	Patentado, MILENAGE, TUAK	Patentado, 2G MILENAGE (2G AKA) y patentado, MILENAGE, TUAK (3G AKA)	Patentado, 2G MILENAGE (2G AKA) y patentado, MILENAGE, TUAK (3G AKA)	Patentado, MILENAGE, TUAK	Patentado, MILENAGE, TUAK	Patentado, MILENAGE, TUAK

CUADRO A1.7 (continuación)

Característica de funcionalidad	Unidad de medición	GSM/EDGE	EC-GSM-IoT	UMTS	HSPA+	LTE Advanced Pro	eMTC	NB-IoT
Fuentes de interferencia		Otros usuarios, células y redes						
<ul style="list-style-type: none"> • Interferencia cocanal • Interferencia de canal adyacente • Interferencia del canal alterno • Prevención de colisiones • Mecanismos de protección • Sensibilidad a otras tecnologías radioeléctricas interferentes • Grado de interferencia causada a otras tecnologías radioeléctricas • Sensibilidad a emisiones RF de líneas eléctricas 		Gestionado según especificaciones e implementación de 3GPP						
Dirección MAC				Sí	Sí	Sí	Sí	Sí

CUADRO A1.7 (continuación)

Característica de funcionalidad	Unidad de medición	GSM/EDGE	EC-GSM-IoT	UMTS	HSPA+	LTE Advanced Pro	eMTC	NB-IoT
Tarjeta SIM		Sí						
Otra identidad		IMEI						
Detección de fraudes		Sí						
Norma de base, organización de normalización (SDO)	Nombre SDO	ATIS (asociado organizacional de 3GPP)						
Organizaciones de creación de perfiles y aplicación	Nombre de la Asociación/ Foro							
Gama de temperaturas		Según 3GPP 45.005	Según 3GPP 45.005	Según 3GPP 25.101 y 25.102	Según 3GPP 25.101 y 25.102	Según 3GPP 36.101 y 36.104	Según 3GPP 36.101 y 36.104	Según 3GPP 36.101 y 36.104
Fuentes de ruido RF – Otras radios		Según 3GPP 45.005 y 45.050	Según 3GPP 45.005 y 45.050	Según 3GPP 25.942	Según 3GPP 25.942	Según 3GPP 36.101 y 36.104	Según 3GPP 36.101 y 36.104	Según 3GPP 36.101 y 36.104
Fuentes de ruido RF – Otros equipos radioeléctricos		Según 3GPP 45.005 y 45.050	Según 3GPP 45.005 y 45.050	Según 3GPP 25.943	Según 3GPP 25.943	Según 3GPP 36.101 y 36.104	Según 3GPP 36.101 y 36.104	Según 3GPP 36.101 y 36.104
Sensibilidad Rx	dBm	Según 3GPP 45.005	Según 3GPP 45.005	Según 3GPP 25.101 y 25.102	Según 3GPP 25.101 y 25.102	Según 3GPP 36.101 y 36.104	Según 3GPP 36.101 y 36.104	Según 3GPP 36.101 y 36.104
Cresta de potencia Tx	dBm	Según 3GPP 45.005	Según 3GPP 45.005	Según 3GPP 25.101 y 25.102	Según 3GPP 25.101 y 25.102	Según 3GPP 36.101 y 36.104	Según 3GPP 36.101 y 36.104	Según 3GPP 36.101 y 36.104
Pasos de potencia Tx	dB	Según 3GPP 45.005	Según 3GPP 45.005	Según 3GPP 25.101 y 25.102	Según 3GPP 25.101 y 25.102	Según 3GPP 36.101 y 36.104	Según 3GPP 36.101 y 36.104	Según 3GPP 36.101 y 36.104

CUADRO A1.7 (fin)

Característica de funcionalidad	Unidad de medición	GSM/EDGE	EC-GSM-IoT	UMTS	HSPA+	LTE Advanced Pro	eMTC	NB-IoT
Ganancia de antena	dBi	Según 3GPP 45.005	Según 3GPP 45.005	Según 3GPP 25.101 y 25.102	Según 3GPP 25.101 y 25.102	Según 3GPP 36.101 y 36.104	Según 3GPP 36.101 y 36.104	Según 3GPP 36.101 y 36.104
Ruido de fondo	dBm	Según 3GPP 45.005	Según 3GPP 45.005	Según 3GPP 25.101 y 25.102	Según 3GPP 25.101 y 25.102	Según 3GPP 36.101 y 36.104	Según 3GPP 36.101 y 36.104	Según 3GPP 36.101 y 36.104
Modulación	GFSK, OFDM, BPSK, GMSK	GMSK, 8-PSK 16QAM/32QAM añadido en EGPRS2-A	GMSK, 8-PSK	BPSK/QPSK	QPSK, 16QAM/64QAM	QPSK, 16QAM/64QAM/256QAM	QPSK, 16QAM	$\pi/2$ -BPSK, $\pi/4$ QPSK, QPSK
Codificación de errores en recepción		Código convolucional con perforación	Código convolucional con perforación	Convolucional y turbo	Convolucional y turbo	Turbo; convolución retorno a cola en BCH	Turbo; convolución retorno a cola en BCH	Turbo; convolución retorno a cola en BCH

A1.4 Normas 3GPP2

3GPP2 tiene diversas normas inalámbricas aplicables a sistemas de gestión de red eléctrica. En el cuadro siguiente se resumen las características técnicas y operacionales de las normas inalámbricas 3GPP2 pertinentes.

CUADRO A1.8

Características técnicas y operacionales de la familia de normas 3GPP2 cdma2000 multiportadoras

Ítem	Valor		
	cdma2000 1x	Paquetes de datos cdma2000 de alta velocidad (HRPD/EV-DO)	Paquetes de datos de alta velocidad extendida (xHRPD)
Bandas de frecuencias soportadas (con o sin licencia)	Con licencia, múltiples bandas posibles (véase 3GPP2 C.S0057-E)	Con licencia, múltiples bandas posibles (véase 3GPP2 C.S0057-E)	Con licencia, múltiples bandas posibles (véase 3GPP2 C.S0057-E)
Gama de funcionamiento nominal	Pérdida de trayecto de 160 dB (para implantación urbana un alcance máximo típico es de 5,7 km a 2 GHz según metodología de evaluación 3GPP2 C.R.1002-B. Para implantaciones especiales se puede conseguir un alcance de hasta 144 km con valores de parámetros optimizados)	Pérdida de trayecto de 160 dB (para implantación urbana un alcance máximo típico es de 5,7 km a 2 GHz según metodología de evaluación 3GPP2 C.R.1002-B. Para implantaciones especiales se puede conseguir un alcance de hasta 144 km con valores de parámetros optimizados)	Norteamérica cubierta en el caso de implantación de geosatélite; 11,4 km en implantación terrenal; 2 GHz
Capacidades de movilidad (nómada/móvil)	Nómada y móvil	Nómada y móvil	Nómada y móvil
Velocidad de datos de cresta (enlace ascendente/descendente si es diferente)	3,1 Mbit/s (portadora de 1,23 MHz) en enlace descendente; 1,8 Mbit/s (portadora de 1,23 MHz) en enlace ascendente	4,9 Mbit/s por portadora de 1,23 MHz, con hasta 16 portadoras posibles en enlace descendente; 1,84 Mbit/s por portadora de 1,23 MHz, con hasta 16 portadoras posibles en enlace ascendente	3,072 Mbit/s por portadora de 1,23 MHz en enlace descendente; 0,0384 Mbit/s por canal de 12,8 kHz, hasta 96 canales de 12,8 kHz soportados en 1,23 MHz en enlace ascendente
Método dúplex (FDD, TDD, etc.)	FDD	FDD	FDD
Ancho de banda RF nominal	1,25 MHz	1,25 a 20 MHz (1 a 16 portadoras)	1,25 MHz
Técnicas de diversidad	Antena, polarización, espacio, tiempo	Antena, polarización, espacio, tiempo	Antena, polarización, espacio, tiempo
Soporte para MIMO (sí/no)	No	Sí	No

CUADRO A1.8 (continuación)

Ítem	Valor		
	cdma2000 1x	Paquetes de datos cdma2000 de alta velocidad (HRPD/EV-DO)	Paquetes de datos de alta velocidad extendida (xHRPD)
Orientación/conformación de haz	Sí	No	No
Retransmisión	HARQ	HARQ	HARQ
Corrección de errores en recepción	Convolucional y turbo	Convolucional y turbo	Convolucional y turbo
Gestión de interferencias	Sí, múltiples técnicas como compensación de interferencia en el receptor, control de potencia, etc.	Sí, múltiples técnicas como compensación de interferencia en el receptor, control de potencia, etc.	Sí, múltiples técnicas como compensación de interferencia en el receptor, control de potencia, etc.
Gestión de potencia	Sí, varios estados de baja potencia	Sí, varios estados de baja potencia	Sí, varios estados de baja potencia
Topología de conexión	Punto a multipunto	Punto a multipunto	Punto a multipunto
Métodos de acceso a medios	CDMA	CDMA (RL)/TDMA (FL)	FDMA (RL)/TDMA (FL)
Método de descubrimiento y asociación	Sí, el móvil busca continuamente la estación base más fuerte. El móvil se registra con un grupo de estaciones base y se asocia con la estación base más fuerte cuando transmite/recibe datos. El móvil se registra y recibe potencialmente una ID MAC	Sí, el móvil busca continuamente la estación base más fuerte. El móvil se registra con un grupo de estaciones base y se asocia con la estación base más fuerte cuando transmite/recibe datos. El móvil se registra y recibe una ID MAC	Sí, el móvil busca continuamente la estación base más fuerte. El móvil se registra con un grupo de estaciones base y se asocia con la estación base más fuerte cuando transmite/recibe datos
Métodos QoS	Sí, prioridades definidas por 3GPP2	Sí, prioridades definidas por 3GPP2	Sí, prioridades definidas por 3GPP2
Conocimiento de la ubicación	Sí, GNSS y AFLT	Sí, GNSS y AFLT	No
Determinación de la distancia	Sí, basado en la medición del retardo de ida y vuelta	Sí, basado en la medición del retardo de ida y vuelta	No especificado
Criptación	Algoritmo de criptación de mensaje celular (CMEA); AES	AES	AES
Autenticación/protección contra reproducción	Sí; CAVE y AKA	Sí; CHAP y AKA	Sí; CHAP y AKA

CUADRO A1.8 (fin)

Ítem	Valor		
	cdma2000 1x	Paquetes de datos cdma2000 de alta velocidad (HRPD/EV-DO)	Paquetes de datos de alta velocidad extendida (xHRPD)
Intercambio de claves	CAVE, SHA-1 y SHA-2 para AKA	SHA-1, SHA-2 y MILENAGE	SHA-1, SHA-2 y MILENAGE
Detección de nodos falseados	Sí, la estación de base puede ser autenticada	Sí, la estación de base puede ser autenticada	Sí, la estación de base puede ser autenticada
Identificación unívoca de dispositivo	Utiliza MEID y tarjeta SIM de 60 bits (opcional)	Utiliza MEID y tarjeta SIM de 60 bits (opcional)	Utiliza MEID y tarjeta SIM de 60 bits (opcional)

Anexo 2

Red inteligente en Norteamérica

A2.1 Introducción

En los Estados Unidos de América y Canadá, organismos públicos han reconocido que, gracias a las grandes capacidades de reacción de la red inteligente, las empresas de servicios públicos y los usuarios podrán cosechar todos los beneficios económicos y medioambientales de recursos renovables y, especialmente, renovables distribuidos²⁸. Del mismo modo, se esperan que esas capacidades permitan aprovechar las posibles ventajas de estructuras de tarificación dinámicas y aplicaciones de respuesta a la demanda que deben poder interactuar con muchos miles de dispositivos en tiempo real²⁹.

²⁸ A finales de 2008, la California Air Resources Board (CARB) declaró que «una red interactiva y una infraestructura de comunicación «inteligentes» permitirían la circulación bidireccional de energía y datos necesarios para el despliegue generalizado de recursos energéticos renovables y distribuidos, vehículos híbridos con enchufe o eléctricos, y dispositivos para mejorar la eficiencia. Las redes inteligentes pueden acomodar un número creciente de fuentes distribuidas de generación de energía ubicadas cerca de los puntos de consumo, lo cual reduce las pérdidas eléctricas globales del sistema y las emisiones correspondientes de GEI. Este sistema permitiría generalizar la generación distribuida de energía..., soportaría la utilización de vehículos eléctricos con enchufe como dispositivos de almacenamiento de energía... [y] ofrecería entonces a los operadores de redes más flexibilidad para responder a fluctuaciones de la generación de energía, lo que ayudaría a solventar las dificultades actuales que plantea la integración de recursos intermitentes tales como la energía eólica». *California Air Resources Board Scoping Plan, Appendix Vol. I at C-96, 97, CARB* (diciembre de 2008).

²⁹ Véase por ejemplo, *Enabling Tomorrow's Electricity System – Report of the Ontario Smart Grid Forum, Ontario Smart Grid Forum* (febrero de 2009) en el que se previene que «las iniciativas sobre conservación, generación renovable y medidores inteligentes son los albores de un nuevo sistema eléctrico, pero todas las promesas no se cumplirán sin las tecnologías avanzadas que posibilitan la red inteligente».

A2.2 Motivos de la implantación de redes inteligentes

Las autoridades estadounidenses y canadienses ya reconocen que una red de comunicación plenamente integrada forma parte integrante de una red inteligente. Por ejemplo, según la iniciativa de red inteligente respaldada por el Departamento de Energía de EE.UU., «la implementación de comunicaciones integradas es una necesidad fundamental [de una red inteligente], necesaria para otras tecnologías clave y esencial para la red eléctrica moderna...»³⁰.

El Departamento añade que «tecnologías de comunicación bidireccionales, totalmente integradas y de alta velocidad permitirán un intercambio indispensable de información y potencia en tiempo real»³¹.

Autoridades públicas³² y otras empresas interesadas han insistido de manera similar sobre la funcionalidad de las comunicaciones avanzadas. Por ejemplo, el Ontario Smart Grid Forum declaró hace poco que «la tecnología de comunicaciones está al centro de la red inteligente. [Esa tecnología] lleva los datos generados por medidores, sensores, controladores de tensión, unidades de trabajo móviles y un sinnúmero de otros dispositivos en la red a sistemas informáticos y otros equipos necesarios para convertir esos datos en información utilizable»³³.

³⁰ Véase *A Systems View of the Modern Grid at B1-2 and B1-11, Integrated Communications*, realizado por el National Energy Technology Laboratory para el U.S. Department of Energy Office of Electricity Delivery and Energy Reliability (febrero de 2007). Esas comunicaciones integradas «[conectarán]» componentes arquitecturas abiertas para información y control en tiempo real, lo que permitirá que todas las partes de la red «hablen» y «escuchen». *The smart grid: An Introduction at 29, U.S. Department of Energy* (2008).

³¹ *Id.*

³² «Modernizar la red eléctrica con comunicaciones bidireccionales, sensores y tecnologías de control adicionales, que son componentes fundamentales de una red inteligente, puede suponer ventajas considerables para los consumidores.» *California PUC Decision Establishing Commission Processes for Review of Projects and Investments by Investor-Owned Utilities Seeking Recovery Act Funding at 3* (10 de septiembre de 2009), en http://docs.cpuc.ca.gov/word_pdf/FINAL_DECISION/106992.pdf. Véase también, *California Energy Commission on the Value of Distribution Automation, California Energy Commission Public Interest Energy Research Final Project Report at 51* (abril de 2007), en <http://www.energy.ca.gov/2007publications/CEC-100-2007-008/CEC-100-2007-008-CTF.PDF>.

«Las comunicaciones son el fundamento de casi todas las aplicaciones y consisten en comunicaciones bidireccionales de alta velocidad en todo el sistema de distribución y con los clientes privados».

³³ Véase *Enabling Tomorrow's Electricity System – Report of the Ontario Smart Grid Forum at 34, Ontario Smart Grid Forum* (febrero de 2009). En el Informe también se indica que «los sistemas de comunicación que las empresas de servicios públicos están desarrollando para medidores inteligentes no serán adecuados para soportar el desarrollo completo de la red inteligente. Las necesidades de comunicación que entraña la compilación de datos de medidores son diferentes de las del funcionamiento de la red. Se necesitará ancho de banda adicional y servicios redundantes para operaciones de red a causa del volumen de datos operacionales, la velocidad necesaria para utilizarlos y su importancia. *Id.* en 35.

Anexo 3

Red inteligente en Europa

A3.1 Introducción

Se han dedicado amplios conocimientos y recursos europeos para comprender y promover que las redes inteligentes son una solución a las dificultades que Europa afronta en materia de cambio climático y eficiencia energética, como por ejemplo todas las iniciativas siguientes:

- **Enero de 2008, Informe de la Eurodiputada Fiona Hall «Plan de acción para la eficiencia energética: realizar el potencial»³⁴**, en el informe se reconoce la importancia de las tecnologías de la información y la comunicación para ayudar a obtener ganancias de productividad adicionales superiores al objetivo del 20% de la UE y se considera que «ciertas tecnologías, tales como la tecnología de redes inteligentes, los sistemas inteligentes de gestión y las tecnologías de computación granular («speckled computing»), deben ser por lo tanto objeto de recomendaciones políticas efectivas».
- **Junio de 2008, el Parlamento Europeo (primera lectura), acerca de la Directiva sobre reglas comunes para el mercado interno de la electricidad³⁵**, propugna que «fórmulas de precios, combinadas con la introducción de contadores y redes inteligentes, fomentarán un comportamiento de eficiencia energética y el precio más bajo posible para los clientes domésticos, en particular para los hogares que padecen pobreza energética».
- La **Smart Grid European Technology Platform³⁶** trabaja para «formular y promover una visión del desarrollo de redes eléctricas europeas con miras a 2020», y estudia en particular cómo las TIC avanzadas pueden ayudar a las redes eléctricas a volverse flexibles, accesibles, fiables y económicas a tenor del cambio de las necesidades europeas.
- El **proyecto Address³⁷** (Redes de distribución activas con integración total de la demanda y las fuentes de energía distribuidas) es un proyecto financiado por la UE que tiene por objeto definir un marco comercial y técnico exhaustivo para el desarrollo de la «demanda activa» en las redes inteligentes del futuro. Address combina 25 asociados de 11 países europeos que abarcan toda la cadena de abastecimiento eléctrico. PLT es un componente significativo del proyecto en curso en Address³⁸.

³⁴ <http://www.europarl.europa.eu/sides/getDoc.do?pubRef=-//EP//NONSGML+REPORT+A6-2008-0003+0+DOC+PDF+V0//EN&language=EN>

³⁵ <http://www.europarl.europa.eu/sides/getDoc.do?type=TA&language=EN&reference=P6-TA-2008-0294>

³⁶ <http://www.smartgrids.eu/>

³⁷ http://cordis.europa.eu/fetch?CALLER=ENERGY_NEWS&ACTION=D&DOC=1&CAT=NEWS&QUERY=011bae3744bf:2435:2d5957f8&RCN=29756

³⁸ Véase «Iberdrola, EDP Announce Big Smart Grid Expansions at EUTC Event», *Smart Grid Today*, 9 de noviembre de 2009 («Iberdrola is using PLC to connect its smart meters while EDP is using a mix of PLC and wireless»).

A3.2 Actividades europeas en algunos Estados Miembros³⁹

A3.2.1 Iniciativa industrial europea sobre redes eléctricas

La Comisión europea lanza la Iniciativa industrial europea sobre redes eléctricas⁴⁰ en el marco del Plan Estratégico Europeo de Tecnología Energética (Plan EETE).

The Plan EETE fue propuesto el 22 de noviembre de 2007 por las Direcciones Generales para la Energía y la Investigación de la Comisión Europea con objeto de acelerar la disponibilidad de nuevas tecnologías energéticas y crear un marco europeo a largo plazo para el desarrollo de tecnologías energéticas. El Plan EETE combina la coordinación de la Comisión Europea, las capacidades de investigación de los principales institutos y universidades europeos, la dedicación de las empresas europeas y el compromiso de los Estados Miembros. Una de las dos dificultades que se abordan en el Plan EETE es la movilización de recursos financieros adicionales para investigación e infraestructuras conexas, demostraciones a escala industrial y proyectos de duplicación en el mercado. En su comunicación sobre el Plan EETE, la Comisión informó sobre los presupuestos aumentados del Séptimo Programa Marco de las Comunidades Europeas (2007-2013), así como el Programa Energía Inteligente para Europa.

El presupuesto anual medio dedicado a la investigación energética (CE y Euratom) será de 886 millones EUR en comparación con 574 millones EUR en los programas anteriores⁴¹. El presupuesto anual medio destinado al Programa Energía Inteligente para Europa será de 100 millones EUR, el doble de los presupuestos anteriores.

Para interesar a las empresas europeas, la Comisión Europea propuso lanzar en primavera de 2009 seis Iniciativas industriales europeas (EII, *european industrial initiatives*) sobre energía eólica y solar, bioenergía, captura, transporte y almacenamiento de CO₂, redes eléctricas y fisión nuclear. Las EII tienen por objeto reforzar la investigación energética y la innovación, acelerar el despliegue de tecnologías y abandonar el planteamiento habitual de que no pasa nada. Las EII reúnen recursos y actores apropiados del sector industrial, en el que compartir riesgos, crear asociaciones público-privadas y financiación a escala europea supone un valor añadido.

³⁹ Origen de todo el párrafo: *European Regulators' Group for Electricity and Gas Position Paper on Smart Grids* – Ref.: E09-EQS-30-04, Anexo III

http://www.energy-regulators.eu/portal/page/portal/EER_HOME/EER_CONSULT/CLOSED_PUBLIC_CONSULTATIONS/ELECTRICITY/Smart_Grids/CDhttp://www.energy-regulators.eu/portal/page/portal/EER_HOME/EER_CONSULT/CLOSED_PUBLIC_CONSULTATIONS/ELECTRICITY/Smart_Grids/CD

⁴⁰ Referencias: Comunicación de la Comisión al Consejo, al Parlamento Europeo, al Comité Económico y Social Europeo y al Comité de las Regiones, «Plan Estratégico Europeo de Tecnología Energética (Plan EETE) – Hacia un futuro con baja emisión de carbono», COM(2007) 723 final, 22 de noviembre de 2007, Comisión Europea, «Energía para el Futuro de Europa: Plan Estratégico Europeo de Tecnología Energética (Plan EETE)», MEMO/08/657, 28 de octubre de 2008.

⁴¹ Comisión Europea, Comunicación de la Comisión al Consejo, al Parlamento Europeo, al Comité Económico y Social Europeo y al Comité de las Regiones «A European strategic energy technology plan (Plan EETE) – Towards a low carbon future», COM(2007) 723 final, 22 de noviembre de 2007.

La EII sobre redes eléctricas se focalizará en el desarrollo del sistema eléctrico inteligente, incluido el almacenamiento, y en la creación de un Centro Europeo que lleve a cabo un programa de investigación para la red de transmisión europea⁴², con el objetivo final de que una red eléctrica europea inteligente única pueda acomodar la integración masiva de fuentes de energía renovables e descentralizadas⁴³. En cuanto a las demás Iniciativas industriales europeas, la relativa a las redes eléctricas tendrá objetivos medibles en lo que hace a la reducción de costes y la mejora del rendimiento.

A3.2.2 Plataforma tecnológica nacional – Redes inteligentes en Alemania

«E-Energy: ICT-based Energy System of the Future»⁴⁴ es una nueva prioridad de soporte y financiación que forma parte de la política tecnológica del Gobierno Federal. Como «Comercio-e» o «Gobierno-e», el término «Energía-e» significa interconexión digital completa y control y supervisión informáticos de todo el sistema de abastecimiento energético.

Se decidió que la electricidad debía ser el primer tema abordado en el proyecto, ya que las dificultades que plantea la interacción en tiempo real y la inteligencia informática son particularmente grandes debido a la capacidad limitada de almacenar electricidad. El objetivo principal de Energía-e es crear regiones modelo que demuestren cómo se puede aprovechar mejor el tremendo potencial de optimización que ofrecen las Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC) para aumentar la eficiencia, la seguridad del abastecimiento y la compatibilidad medioambiental (pilares de la política energética y climatológica) del abastecimiento de electricidad y, a su vez, como se pueden crear empleos y mercados. Lo que es particularmente innovador en este proyecto es que se desarrollan y prueban en tiempo real, en el marco de proyectos modelo regionales de Energía-e, conceptos de sistemas TIC integradores que optimizan la eficiencia, la seguridad del abastecimiento y la compatibilidad medioambiental de todo el sistema de suministro de electricidad, desde su generación y transporte a su distribución y consumo.

A fin de acelerar el ritmo del desarrollo innovador necesario y aumentar el impacto de los resultados, el programa Energía-e se focaliza en los tres aspectos siguientes:

- 1) creación de un mercado de la Energía-e que facilite las transacciones electrónicas legales y los tratos comerciales entre todos los participantes en el mercado;
- 2) interconexión e informatización digitales de los sistemas y componentes técnicos, y de las actividades de control y mantenimiento de procesos basadas en esos sistemas y componentes, de modo que se garantice la supervisión, análisis, control y reglamentación esencialmente independientes del sistema técnico global;
- 3) vinculación en línea del mercado electrónico de la energía y el sistema técnico global a fin de que se garantice la interacción digital en tiempo real de las operaciones comerciales y tecnológicas.

Se organizó un concurso de tecnologías de Energía-e y seis proyectos modelo fueron declarados ganadores. Todos persiguen un planteamiento sistémico integral que abarca todas las actividades económicas pertinentes de la energía a nivel del mercado y de las operaciones técnicas.

⁴² La propuesta de crear un Centro Europeo para Redes Eléctricas procede del proyecto 6FP RELIANCE, en el que han participado ocho operadores europeos de sistemas de transmisión.

⁴³ Comisión Europea, «Energy for the Future of Europe: The Strategic Energy. Technology (SET) Plan», MEMO/08/657, 28 de octubre de 2008.

⁴⁴ <http://www.e-energy.de/en/>

El programa durará 4 años y movilizará unos 140 millones EUR para el desarrollo de seis regiones de Energía-e modelo, junto con el capital propio de las empresas participantes:

- eTelligence, región modelo de Cuxhaven
Tema: Inteligencia para energía, mercados y redes eléctricas.
- E-DeMa, región modelo de la Ruhr
Tema: Sistemas de energía integrados y descentralizados camino del mercado de la Energía-e del futuro.
- MeRegio
Tema: Región de emisiones mínimas
- Ciudad modelo de Mannheim
Tema: Región modelo de Mannheim en la región modelo de Rhein-Neckar.
- RegModHarz
Tema: Región regenerativa modelo de Harz.
- Smart Watts, ciudad modelo de Aquisgrán
Tema: Mayor eficiencia y ventajas para los consumidores con la Internet de la Energía.

Además de los coordinadores del proyecto, también participan vendedores de equipos eléctricos, integradores de sistemas, proveedores de servicios, institutos de investigación y universidades.

En 2012, las regiones modelo seleccionadas deben haber desarrollado sus propuestas prometedoras hasta un nivel en el cual estén listas para su comercialización y para probar sus perspectivas de comercialización en aplicaciones cotidianas.

Anexo 4

Red inteligente en Brasil

A4.1 Introducción

El Ministerio de Minas y Energía ha promovido estudios sobre tecnologías que se puedan utilizar para el concepto de red inteligente. Esos estudios son motivados por la necesidad de reducir las pérdidas técnicas y no técnicas, y mejorar el rendimiento de todo el sistema para aumentar la fiabilidad, resistencia, seguridad, etc. Recientemente, una Comisión de Estudio apoyada por el Ministerio brasileño señaló problemas en el sistema energético actual y presentó tecnologías y soluciones que podrían reducir las pérdidas y mejorar el rendimiento de esos sistemas energéticos. En esos estudios se tenían en cuenta los aspectos económicos y esencialmente el coste aceptable de la instalación de más de 45 millones de metros en el país.

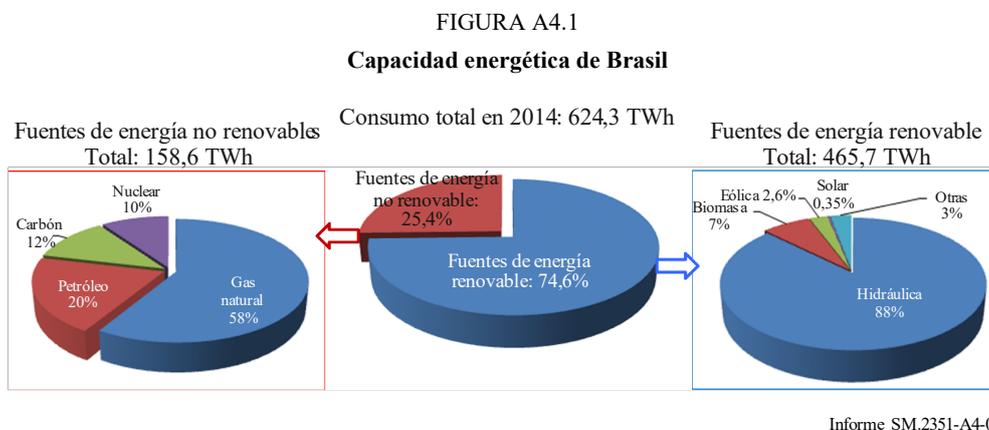
Por otra parte, instituciones privadas con financiación pública han llevado a cabo otros estudios, como el dirigido por ABRADDEE y APTEL, asociaciones sin ánimo de lucro del sector eléctrico.

- APTEL – Asociación de Empresas Privadas de Infraestructura y Sistemas de Telecomunicaciones, creada el 7 de abril de 1999.
- ABRADDEE – Asociación Brasileña de Distribuidores de Energía Eléctrica, creada en agosto de 1975.

A4.2 Sector energético brasileño

Brasil dispone actualmente de más de 142 GW de capacidad energética y tiene más de 75 millones de usuarios. Como se indica en la Fig. A4.1 [1], el consumo energético en Brasil es de unos 624,3 TWh.

El porcentaje de energía renovable producida es del 74,6%, mientras que la generada por fuentes no renovables es del 25,4%.



El consumo medio en Brasil es de 68 GW con crestas de más de 80 GW. Hace poco, el sector eléctrico informó de que prevé que el consumo aumentará aproximadamente un 44%, por lo que es necesario aumentar la eficiencia energética del sistema eléctrico.

En la primera etapa de este proceso, el Ministerio considera prioritario reducir las pérdidas técnicas y no técnicas de los sistemas energéticos. Las pérdidas técnicas del sistema de transmisión y el sistema de distribución son respectivamente del 5% y 7%. Además, las pérdidas no técnicas, tales como conexiones no autorizadas a los sistemas de distribución representan hasta el 7%.

Con esas cifras, cabe suponer que Brasil tendrá grandes dificultades para desarrollar un sistema energético que aumente la eficiencia y reduzca pérdidas.

A4.3 Comisión de Estudio sobre la red inteligente brasileña

A fin de comprender el concepto de red inteligente, en mayo de 2010 el Ministerio de Minas y Energía creó una Comisión de Estudio integrada por miembros de los sectores de la electricidad y las telecomunicaciones. Uno de los objetivos de ese grupo es evaluar las posibilidades de aplicar ese concepto en la red energética brasileña para aumentar la eficiencia del sistema.

A mediados de marzo de 2011 se presentó un informe al Ministerio de Minas y Energía sobre la situación de esa tecnología. El informe contiene información sobre los conceptos de red inteligente e información técnica sobre cuestiones económicas, de facturación y telecomunicaciones.

En lo que hace a las telecomunicaciones, en el estudio se tuvieron en cuenta los recursos y tecnologías disponibles en Brasil y los tipos de tecnologías utilizados en otros países que se podrían aplicar en Brasil. El Gobierno brasileño, en su estrategia inicial, se interesa especialmente por el despliegue de una infraestructura de medición avanzada.

En el marco de ese estudio, un grupo técnico visitó Estados Unidos en octubre de 2010 para reunir información sobre la red inteligente. Se observó que, en general, casi todas las tecnologías de telecomunicaciones desplegadas en apoyo de funcionalidades de red inteligente se podrían aplicar en Brasil.

El grupo de estudio ABRADDEE/APTEL presentó su informe en diciembre de 2011 a ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica), el regulador nacional de energía. El estudio se concentró en planificar el despliegue de funcionalidades de red eléctrica inteligente en todo el sector eléctrico brasileño en un plazo de diez años y prever las inversiones y beneficios relacionados con estas previsiones. El estudio utilizó la base de datos de más de 50 servicios de distribución que están asociados con los líderes del proyecto y las previsiones se basan en la situación real de empresas brasileñas.

A4.4 Cuestiones de telecomunicaciones

Se ha observado que se pueden aplicar varios tipos de tecnologías de telecomunicaciones para el mismo fin. Por ejemplo, Zig-Bee y Mesh Grid se pueden utilizar para leer los contadores de consumo energético de los usuarios. Para las conexiones al núcleo de red se puede utilizar WiMax, GPRS, 3G, 4G etc. Cada solución depende de aspectos técnicos como espectro disponible, propagación, caudal, etc.

Actualmente sigue habiendo dudas acerca del caudal de conexión al núcleo de red necesario para aplicaciones de red inteligente. Es indudable que esa información es estratégica en los proyectos de red inteligente, a fin de poder elegir la solución adecuada y las necesidades de recursos de espectro como ancho de banda, límites de interferencia perjudicial causada a otros servicios, límites de potencia y aspectos de propagación. Hasta la fecha no ha habido ningún estudio sobre requisitos de sistemas de telecomunicaciones que se puedan aplicar a redes inteligentes.

Estamos interesados en técnicas de medición de campo eléctrico en la utilización de comunicaciones por línea eléctrica en banda de ondas kilométricas en aplicaciones de red inteligente. Hace poco, varias empresas brasileñas han expresado interés en la certificación de equipos de comunicación por línea eléctrica con portadoras de unos 80 kHz con 20 kHz de banda para medición inteligente. Las emisiones alrededor de esa frecuencia están limitadas por normativa y el límite de campo eléctrico indicado corresponde a mediciones tomadas a 300 m de la fuente.

El estudio de ABRADDEE/APTEL ha estimado que se requiere una inversión de unos 19 000 millones de «reais» en activos de telecomunicaciones y 3 000 millones de «reais» en activos de tecnologías de la información para desplegar las funcionalidades básicas de red eléctrica inteligente, como medición inteligente, red de distribución automática, autoreparación, fuentes renovables de generación distribuidas y vehículos eléctricos.

El modelo de referencia para la arquitectura de comunicación utilizada es el propuesto por IEE P2030. La arquitectura propuesta define una jerarquía lógica y una interfaz normalizada para interconexiones interoperables que puede desplegarse mediante tecnologías de red de comunicaciones, como las utilizadas en el estudio: inalámbrica (Wi-Fi 802.11, WIMAX 802.16), GPRS, 3G, MPLS, VPN y fibra óptica y enlaces radioeléctricos para la red de campo (FAN) y para la red de conexión.

Según la investigación realizada sobre las redes de telecomunicaciones existentes en los servicios brasileños, el 69% de los sistemas de la red de conexión utilizan fibra óptica, GPRS es la tecnología dominante en el último kilómetro y el 44% de las empresas utilizan enlaces por microondas (400 MHz a 900 MHz) principalmente para conectar equipos de datos instalados en postes. El 50% aproximadamente de los servicios utilizan líneas dedicadas de operadores de telecomunicaciones públicos.

A4.5 Datos técnicos

Es esencial obtener datos sobre caudal, latencia, resistencia, fiabilidad, etc. de conexión al núcleo de red que se consideren adecuados para red inteligente a fin de planificar los recursos de infraestructura y espectro necesarios y evitar obsolescencias y derroches de recursos.

Utilizando el modelo de información común (CIM) adoptado por el CEI y definido en CEI 61970, el estudio de ABRADEE/APTEL destaca la necesidad de desarrollar una estrategia específica en materia de ciberseguridad en las redes inteligentes, habida cuenta de los posibles riesgos siguientes:

- Elevada complejidad de la red eléctrica.
- Nuevas vulnerabilidades de las redes interconectadas.
- Aumento del número de puntos de acceso.
- Protección de la privacidad del consumidor.

A4.6 Mediciones en ondas kilométricas

Además, a efectos de aplicación de las normativas, a fin de evitar pesadas mediciones de campo eléctrico en zonas urbanas y teniendo en cuenta normativas rigurosas, se reconoce que otros procedimientos tales como la medición de potencia podrían ser menos pesados que utilizar analizadores de espectro conectados a antenas de ondas kilométricas.

A4.7 Conclusión

Dado el carácter estratégico de la instalación de redes inteligentes en países en desarrollo, recabamos contribuciones de otras administraciones sobre los datos técnicos y mediciones en ondas kilométricas mencionados *supra*.

En cuanto al tamaño y complejidad de la red de telecomunicaciones necesario para dar soporte al despliegue del concepto de red inteligentes en la red eléctrica brasileña, el estudio de ABRADEE/APTEL recomienda, entre otras cosas, un análisis profundo del espectro con el fin de identificar y reservar bandas de frecuencias específicas para aplicaciones en el terreno y en zonas metropolitanas.

Referencias

- [1] Presentación: Generación distribuida, por Rodrigo Campos de Souza – Seminario de APTEL para la generación de minipotencia y micropotencia– Rio de Janeiro – RJ – 8 de diciembre de 2015.

Anexo 5

Red inteligente en la República de Corea

A5.1 Hoja de ruta de la red inteligente en Corea

Frente al cambio climático, Corea ha reconocido que es necesario instalar una infraestructura de red inteligente para crear una industria ecológica con bajas emisiones de carbono, a fin de preparar las reducciones de emisiones de gases de efecto invernadero a las que se ha comprometido. Por consiguiente, el Gobierno coreano ha adoptado la iniciativa de red inteligente como política nacional para alcanzar la visión de «Bajas emisiones de carbono, crecimiento ecológico».

En 2009, el Comité de crecimiento ecológico de Corea presentó su visión «Crear un país ecológico avanzado», y esbozó su hoja de ruta para la red inteligente⁴⁵. Desde noviembre de 2009 se han compilado opiniones y comentarios de expertos del sector privado, instituciones académicas e

⁴⁵ <http://www.ksmartgrid.org/eng/>

institutos de investigación, que quedan reflejados en la hoja de ruta definitiva anunciada en enero de 2010. Según la hoja de ruta nacional, el proyecto de red inteligente ha sido implementado en los cinco sectores siguientes, a fin de crear una red inteligente nacional antes de 2030:

- 1) Red eléctrica inteligente
- 2) Lugar inteligente
- 3) Transporte inteligente
- 4) Renovable inteligente
- 5) Servicio eléctrico inteligente.

El proyecto de red inteligente de Corea será implementado en tres etapas. La primera consistirá en construir y explotar una red inteligente de prueba para probar tecnologías pertinentes. La segunda etapa consistirá en extender la prueba a zonas metropolitanas y añadir inteligencia en el lado del consumidor. La última etapa consistirá en terminar una red inteligente nacional que conectará todas las redes inteligentes del país.

FIGURA A5.1

Hoja de ruta de la red inteligente en Corea

Orientaciones de implementación por etapas	Primera etapa (2010~2012) «Construcción y explotación de la red inteligente de prueba (Validación técnica)»	Segunda etapa(2012~2020) «Expansión en zonas metropolitanas» (Consumidores inteligentes)	Tercera etapa(2021~2030) «Completación de una red eléctrica nacional» (Red eléctrica inteligente)
Red eléctrica inteligente	<ul style="list-style-type: none"> - Supervisión en tiempo real de la red eléctrica - Transmisión digital de electricidad - Explotación de un sistema de distribución óptimo 	<ul style="list-style-type: none"> - Predicción de posibles fallos en las redes eléctricas - Conexión del sistema eléctrico con el de otros países - Conexión del sistema de abastecimiento eléctrico con dispositivos distribuidos de generación y almacenamiento de electricidad 	<ul style="list-style-type: none"> - Autorrestablecimiento de redes eléctricas - Explotación de una red eléctrica inteligente e integrada
Consumidor inteligente	<ul style="list-style-type: none"> - Gestión energética de hogares inteligentes - Posibilidades de elección para los consumidores, incluidas tarifas 	<ul style="list-style-type: none"> - Gestión energética inteligente de edificios/fábricas - Incitación al consumidor para que produzca energía 	<ul style="list-style-type: none"> - Hogares/edificios cero energía
Transporte inteligente	<ul style="list-style-type: none"> - Construcción y prueba de instalaciones de carga de vehículos eléctricos - Utilización de vehículos eléctricos en proyecto piloto 	<ul style="list-style-type: none"> - Extensión de instalaciones de carga de vehículos eléctricos en todo el país - Mantenimiento y gestión efectivos de vehículos eléctricos 	<ul style="list-style-type: none"> - Generalización de instalaciones de carga - Diversificación de métodos de carga - Utilización de dispositivos
Renovable inteligente	<ul style="list-style-type: none"> - Explotación de microrredes mediante la conexión de dispositivos distribuidos de generación y almacenamiento de electricidad y vehículos eléctricos - Aumento de la utilización de dispositivos de almacenamiento de electricidad y generación distribuida 	<ul style="list-style-type: none"> - Explotación óptima del sistema energético con microrredes - Expansión de la aplicación de dispositivos de almacenamiento de electricidad 	<ul style="list-style-type: none"> - Universalización de la energía renovable
Servicio eléctrico inteligente	<ul style="list-style-type: none"> - Elección por el consumidor de las tarifas de la electricidad - Venta de energía renovable por el consumidor 	<ul style="list-style-type: none"> - Promoción de transacciones de derivados de energía eléctrica - Adopción nacional de un sistema de tarificación en tiempo real - Aparición de participantes voluntarios en el mercado 	<ul style="list-style-type: none"> - Promoción de diversos tipos de transacciones de energía eléctrica - Promoción de la convergencia para el mercado de los sectores eléctricos - Encabezar el mercado energético en el nordeste asiático

Una vez terminada la tercera etapa se observarán los resultados y ventajas de la red inteligente. Con su red inteligente, Corea proyecta reducir el consumo nacional de electricidad en un 6% y facilitar una mayor utilización de energías nuevas y renovables tales como la eólica y la solar. Además, Corea reducirá en 230 millones de toneladas sus emisiones de GEI y creará anualmente 50 000 empleos en un mercado nacional que representará 68 000 millones won en 2030. Los conocimientos acumulados servirán a Corea para avanzar en el mercado internacional. Su crecimiento ecológico contribuirá considerablemente a impedir el recalentamiento mundial en el futuro.

Desde un punto de vista nacional, el proyecto de red inteligente servirá para aumentar la eficiencia energética y crear infraestructuras energéticas ecológicas que reduzcan las emisiones de CO₂. Desde un punto de vista industrial, el proyecto constituirá un nuevo motor de crecimiento con el que Corea pasará a la era del crecimiento ecológico. Desde un punto de vista individual, reducirá las emisiones de carbono de la población, que podrá experimentar una vida ecológica.

A5.2 Desarrollo tecnológico

Una ciudad de 3 000 hogares será el banco de prueba de la red inteligente (10 MW), donde habrá en total dos subestaciones con por lo menos 2 BANK y, para cada BANK, habrá dos líneas de distribución. El banco de prueba de red inteligente permitirá obtener resultados para los programas de investigación sobre «transmisión de potencia utilizando TI» y nuevos recursos energéticos renovables.

Unos 10 consorcios de cinco sectores han participado en pruebas de tecnologías y desarrollo de modelos de actividad comercial y han implementado este proyecto en las dos fases indicadas en el Cuadro A5.1.

CUADRO A5.1

Plano de implementación del banco de prueba Jeju por fases

Fase	Periodo	Ámbitos clave	Contenidos clave
Prestación de nuevos servicios energéticos	2010~2011	Red eléctrica inteligente Lugar inteligente Transporte inteligente	Conexión de redes y consumidores, redes y vehículos eléctricos
Etapa de expansión (operación integrada)	2012~2013	Renovable inteligente Servicio de electricidad inteligente	– Prestación de nuevos servicios energéticos – Incorporación de fuentes de energía renovables en la red eléctrica

Anexo 6

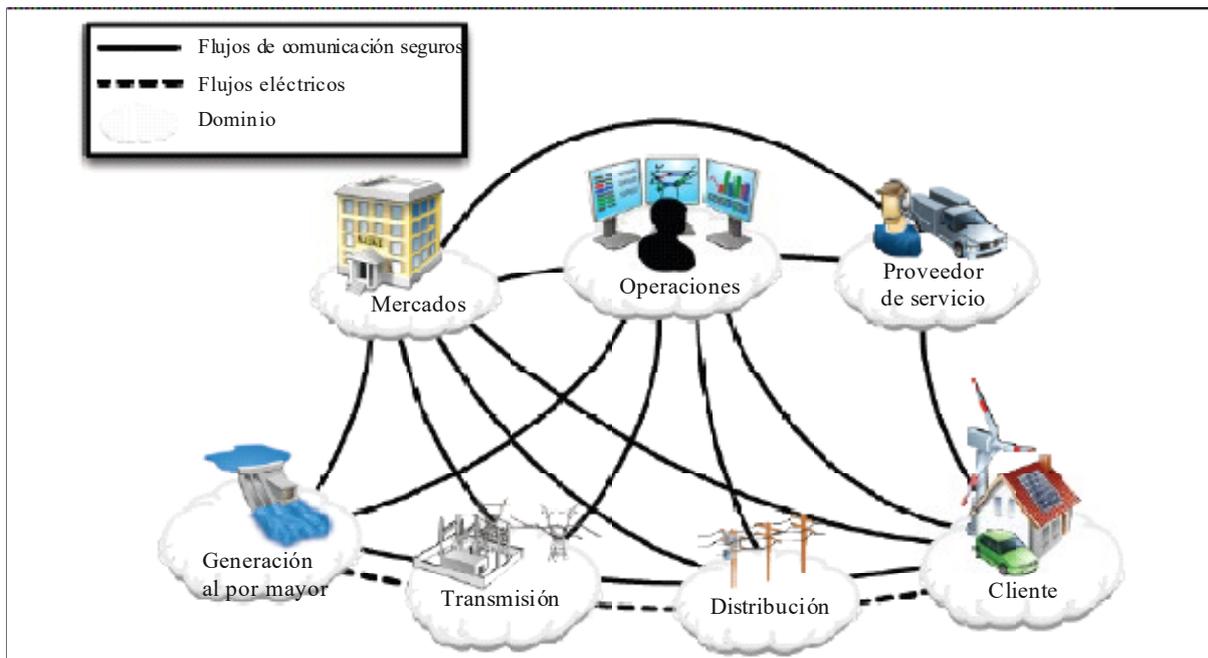
Red inteligente en Indonesia

A6.1 Introducción

La implementación de redes inteligentes comprende equipos tecnológicos que cambian el servicio entre la planta de producción y el cliente y consisten en 7 dominios importantes: generación al por mayor, transmisión, distribución, clientes, operación, mercado y proveedor de servicio. Cada dominio consiste a su vez de eventos de red inteligente que están conectados unos con otros por comunicaciones bidireccionales analógicas o digitales para reunir información y transportar electricidad. Las conexiones son fundamentales para aumentar la eficiencia, fiabilidad, seguridad y economía de la red inteligente y una producción y distribución de electricidad sostenible.

FIGURA A6.1

Interacciones entre actores de la red inteligente



Informe SM.2351-A6-01

El sistema de la red inteligente tiene tres capas principales: capa de potencia y energía, capa de comunicación y capa TI. Esas capas son fundamentales para la circulación de la electricidad y las comunicaciones.

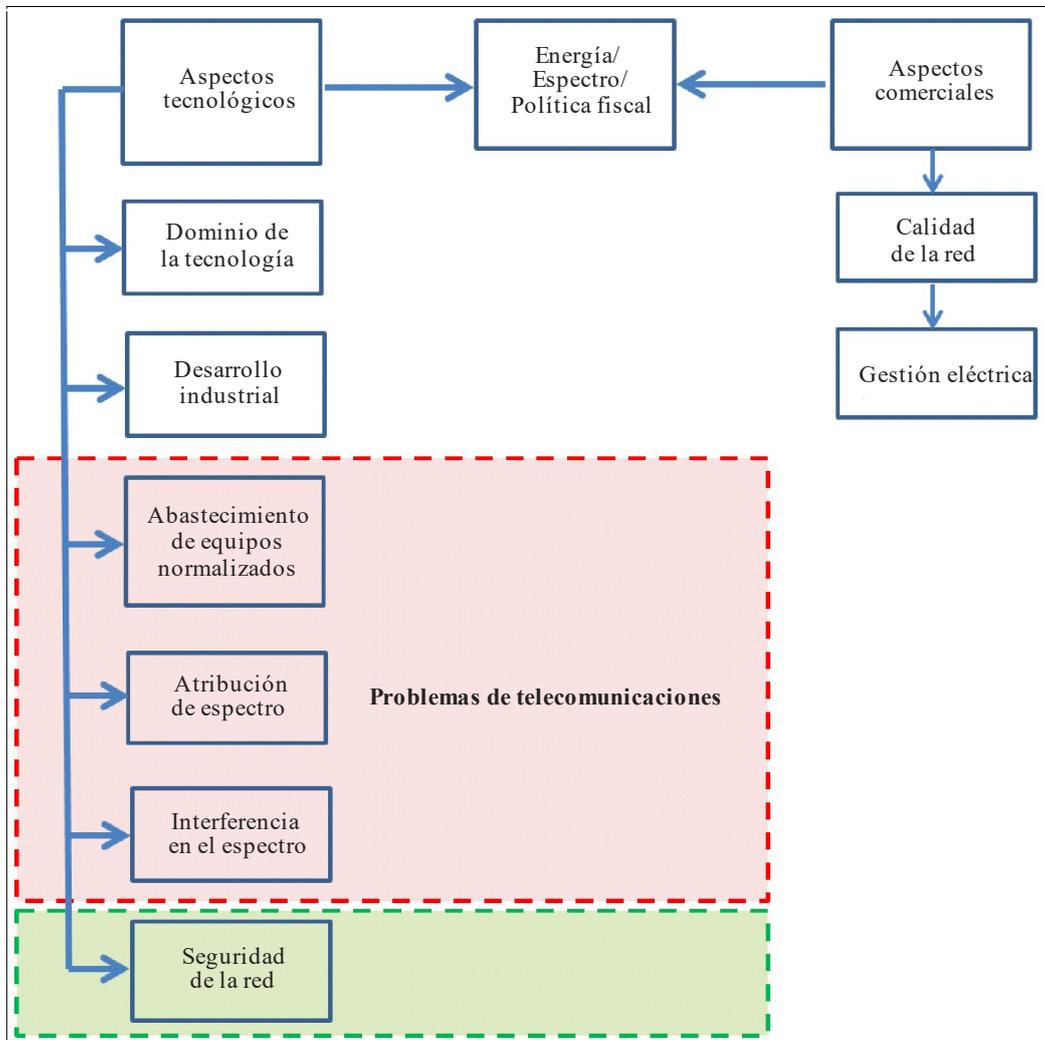
El precio del consumo y la energía tiende a aumentar. Esta condición corresponde a los abonados del servicio móvil.

A6.2 Desarrollo de la red inteligente y sus problemas

El Gobierno indonesio es consciente de que la red inteligente podría ser una solución alternativa para una utilización eficiente de la electricidad. Por ese motivo, el organismo público ha creado un proyecto piloto de instalación de una red inteligente en la parte oriental de Indonesia. El proyecto piloto fue llevado a cabo por la Agencia de evaluación y aplicación tecnológicas en cooperación con PLN (Compañía Eléctrica Nacional).

El desarrollo de la red inteligente plantea varias dificultades. Aspectos tecnológicos y comerciales que se podrían utilizar como referencia fundamental para desarrollar políticas y normativas.

FIGURA A6.2
Problemas



Informe SM.2351-02

En lo que concierne a la Fig. A6.2, los dos problemas principales que influyen el desarrollo de la red inteligente, nos preocupan varios problemas en aspectos de telecomunicaciones y TI, a saber:

- a) Equipo normalizado y abastecimiento:
Proporcionar una breve descripción de la especificación técnica del equipo a fin de comprobar su compatibilidad.
- b) Recursos de espectro:
Disponer de un plan estratégico sobre atribución de espectro y ancho de banda necesario para esa aplicación. Es importante para utilizar eficientemente recursos escasos.
- c) Interferencia en el espectro:
Asegurarse de que esa tecnología no causa interferencias a otros servicios.
- d) Seguridad de la red:
Asegurarse de la seguridad del flujo de datos.

Dado que esta aplicación se puede utilizar en varios servicios (de banda ancha) móviles, se propone que la Comisión de Estudio siga examinando los requisitos de telecomunicaciones para ayudar a los países en desarrollo a determinar un plan estratégico que sirva de orientación para políticas y normativas adecuadas en relación con la implementación de una red inteligente.

Anexo 7

Investigaciones sobre tecnologías de acceso inalámbrico para red inteligente en China

A7.1 Introducción

La tecnología inalámbrica es una parte importante del sistema de gestión de potencia en el que diversas informaciones de gestión y control son transmitidas bidireccionalmente en tiempo real. Al principio, la capacidad de comunicación requerida por la red de distribución y utilización es generalmente pequeña. Los dispositivos inalámbricos de banda estrecha tradicionales que utilizan frecuencias fijas son utilizados esencialmente como medio privado de comunicación inalámbrica en sistemas de gestión de potencia. Con el desarrollo de la red inteligente, la adquisición de datos sobre energía eléctrica, la gestión de la demanda y los servicios de vigilancia vídeo *in situ* requeridos por la distribución de energía y la red de comunicación imponen mayores exigencias de ancho de banda, retardo de transmisión y fiabilidad. Para ello, China está investigando y construyendo una nueva generación de red de comunicación de potencia en la construcción de la red inteligente. Hasta la fecha, el nuevo sistema de comunicación inalámbrica tiene aplicaciones piloto en gran escala para red inteligente en China.

A7.2 Tecnología de acceso inalámbrico para red inteligente en China

A7.2.1 Introducción

La Smart and Wide-Coverage Industry-Oriented Wireless Network (SWIN) está diseñada para tener plenamente en cuenta las demandas de servicio de red inteligente. Se basa en la tecnología 4G y la banda de frecuencias de 223-235 MHz con licencia para red inteligente. El sistema tiene muchas ventajas con respecto a sistemas de comunicación inalámbrica de banda estrecha, como una mayor cobertura, accesos masivos de abonado, alta eficiencia espectral, tiempo real, alta seguridad y fiabilidad, grandes capacidades de gestión de red, etc.

A7.2.2 Características técnicas principales

La banda 223-235 MHz fue atribuida en segmentos de 25 kHz por la Oficina Nacional China de Administración Radioeléctrica. En lo que respecta a las características de espectro, SWIN puede agregar múltiples frecuencias de banda estrecha discretas para proporcionar transmisión de datos en banda ancha. Por otra parte, la tecnología de detección de espectro que permite detectar interferencias inter RAT en bandas adyacentes para mejorar la capacidad de coexistencia es una de las tecnologías clave de SWIN. Puede garantizar la coexistencia con sistemas de banda ancha existentes en la misma banda de frecuencias 223-235 MHz.

CUADRO A7.1

Características técnicas y operacionales de SWIN

Ítem	Valor
Bandas de frecuencias soportadas, con o sin licencia (MHz)	Bandas de frecuencias con licencia: 223-235 MHz
Gama de funcionamiento nominal	3~30 km
Capacidades de movilidad (nómada/móvil)	Móvil
Velocidad de datos de cresta (enlace ascendente/descendente si es diferente)	1,5 UL/0,5 DL Mbit/s (1 M BW) 13 UL/5 DL Mbit/s (8,5 M BW)
Método dúplex (FDD, TDD, etc.)	TDD
Ancho de banda RF nominal	Seleccionable: 25 kHz-12 MHz
Soporte para MIMO	No
Retransmisión	HARQ
Corrección de errores en recepción	Convolutacional, turbo
Gestión de interferencias	Reutilización fraccional de frecuencias, detección del espectro
Gestión de potencia	Sí
Topología de conexión	Punto a multipunto
Métodos de acceso a medios	Acceso aleatorio (con contención o sin contención)
Múltiples métodos de acceso	SC-FDMA (enlace ascendente) y OFDMA (enlace descendente)
Método de descubrimiento y asociación	Descubrimiento autónomo, asociación a través de portadora
Métodos QoS	Diferenciación de QoS (5 clases soportadas, adaptable)
Conocimiento de la ubicación	Sí
Criptación	ZUC
Autenticación/protección contra reproducción	Sí
Intercambio de claves	Sí
Detección de nodos falseados	Sí
Identificación unívoca de dispositivo	15 cifras (IMEI)

A7.2.3 Industrialización y aplicación

Actualmente el sistema SWIN consiste en microcircuitos de banda de base, terminales, estaciones de base, una red central y equipos de gestión de red. El SWIN ha sido desplegado en redes de distribución y utilización de energía. Hasta ahora, se han desplegado redes de prueba SWIN en 13 provincias de China, que proporcionan servicios de red inteligente de adquisición de información, control de carga, automatización de distribución de electricidad, etc. Tras el periodo de prueba, se ha demostrado que SWIN puede satisfacer los requisitos de servicio de la medición inteligente y la automatización de la distribución.

A7.2.4 Normalización

La empresa de explotación de la red inteligente en China (State Grid Corporation of China) ya ha comenzado a desarrollar normas de SWIN. El State Radio_monitoring_center Testing Center (la organización nacional de gestión del espectro radioeléctrico) y la China Communications Standards Association (CCSA) están elaborando la norma SWIN RF para garantizar la coexistencia entre sistemas que funcionan en la misma banda. Además, se va a llevar a cabo la normalización nacional de SWIN.

A7.3 Conclusión

China ha comenzado a investigar tecnologías de acceso inalámbrico para red inteligente. SWIN puede proporcionar comunicaciones inalámbricas satisfactorias para red inteligente, que permitirán reducir el coste de construcción y explotación de redes inteligentes.
