
Curso IEC 61850 – M4.3

CASOS PRÁCTICOS: SMARTCITY MÁLAGA

Comunicaciones para los sistemas de control y protección de subestaciones eléctricas, Smart Grid, vehículo eléctrico y energías renovables. Norma IEC 61850.

Diciembre 2017

	Documento: Casos prácticos: Smartcity Málaga Módulo: Panorámica de soluciones reales Referencia: M4.3	Versión: 1A Autor: SET Fecha: 4/12/17
---	---	---

1	INTRODUCCIÓN	3
2	PROYECTO SMARTCITY Y CONCEPTO SMART GRID.....	4
2.1	OBJETIVOS DEL PROYECTO	5
3	AUTOMATIZACIÓN DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN DE MÁLAGA	7
3.1	TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN Y LA COMUNICACIÓN EN LA SMART GRID DE MÁLAGA.....	8
3.2	TELEGESTIÓN	9
3.3	AUTOMATIZACIÓN DE LA RED.....	10
3.3.1	<i>iNode e iSocket.....</i>	<i>10</i>
3.3.2	<i>Red de Media Tensión</i>	<i>12</i>
3.3.3	<i>Red de Baja Tensión</i>	<i>13</i>
3.4	GENERACIÓN DISTRIBUIDA.....	13
3.4.1	<i>Sistemas de generación y almacenamiento distribuidos de Smartcity Málaga</i>	<i>14</i>
3.5	EFICIENCIA ENERGÉTICA Y GESTIÓN DE LA DEMANDA.....	15
3.6	VEHÍCULO ELÉCTRICO	16
4	SMARTCITY MÁLAGA EN CIFRAS. IMPACTO DEL PROYECTO	17
4.1	INCREMENTO DEL USO DE ENERGÍAS RENOVABLES	17
4.2	REDUCCIÓN DE EMISIONES DE CO ₂	18
4.3	MEJORA DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA	19
4.4	IMPACTO DEL PROYECTO	19
4.4.1	<i>Experiencia internacional.....</i>	<i>19</i>
5	CONCLUSIONES	21

	Documento:	Casos prácticos: Smartcity Málaga	Versión:	1A
	Módulo:	Panorámica de soluciones reales	Autor:	SET
	Referencia:	M4.3	Fecha:	4/12/17

1 Introducción

El proyecto Smartcity Málaga constituye **la más importante iniciativa europea de ciudad ecoeficiente**. Desde que arrancó en 2009, el proyecto está demostrando el potencial de las *smart cities* y la importancia de la unión de tecnologías para hacer posible proyectos a gran escala. Los principales avances se han recogido en un Libro Blanco (disponible en la plataforma del curso), publicado al cumplirse cinco años del proyecto.

En este Libro Blanco se recogen los principales objetivos del proyecto Smartcity Málaga, las actuaciones realizadas más importantes para su consecución y los resultados en términos de eficiencia energética, reducción de emisiones de CO₂ y empleo de energías renovables. Todo ello, en cumplimiento de las resoluciones de la Unión Europea y su plan Europa 2020 por el cambio climático y la sostenibilidad energética.

En el proyecto Smartcity Málaga, los principales campos de aplicación de la norma IEC 61850 están relacionados con la automatización de la red de distribución existente en la zona de despliegue del proyecto. Mediante la automatización se conseguirá una optimización de las operaciones del sistema, minimizando las pérdidas y solucionando problemas puntuales de sobrecarga. Para ello, se definen dos nuevos dispositivos (*iNode* e *iSocket*) cuyas comunicaciones se basan en protocolos del estándar IEC 61850, especialmente MMS.

Estos nuevos equipos se encargarán de la lectura y operación remota de los elementos de la red de distribución, disponiendo de cierta autonomía a la hora de la toma de decisiones, aunque manteniéndose siempre bajo la supervisión y las órdenes del centro de control.

Este capítulo, M4.3, sigue la estructura del Libro Blanco del proyecto, resumiendo sus puntos principales. Pretende proporcionar una guía de referencia del concepto de Smart Grid y alcanzar el concepto de que la identificación y caracterización correctas de nuevos servicios en la red eléctrica es el primer paso para la aplicación de IEC 61850 en otros frentes más allá de las subestaciones.

	Documento:	Casos prácticos: Smartcity Málaga	Versión:	1A
	Módulo:	Panorámica de soluciones reales	Autor:	SET
	Referencia:	M4.3	Fecha:	4/12/17

2 Proyecto Smartcity y concepto Smart Grid

Europa 2020 es la estrategia de la UE para el crecimiento y el empleo iniciada en 2010, con una duración prevista de 10 años. Su objetivo no es sólo superar la crisis de la que poco a poco van recuperándose las economías europeas, sino también paliar las diferencias de los modelos de desarrollo y de crear las condiciones necesarias para un crecimiento inteligente, sostenible e integrador.

Este plan pretende alcanzar cinco objetivos principales en ámbitos tan dispares como empleo, investigación y desarrollo, clima/energía, educación, integración social y reducción de la pobreza:

1. **Empleo:** empleo para el 75% de la población entre 20 y 64 años.
2. **I+D:** inversión del 3% del PIB de la UE en I+D.
3. **Cambio climático y sostenibilidad energética:**
 - a. Reducir las emisiones de gases de efecto invernadero un 20% (o un 30% si se dan las condiciones) respecto a los niveles de 1990.
 - b. 20% de la energía generada proceda de fuentes renovables.
 - c. Incrementar la eficiencia energética en un 20%.
4. **Educación:** reducir la tasa de abandono escolar prematuro por debajo del 10% y que al menos un 40% de las personas de 30 a 34 años tengan estudios de nivel terciario.
5. **Lucha contra la pobreza y la exclusión social:** reducir al menos en 20 millones el número de personas en situación o riesgo de pobreza y exclusión social.

Estos objetivos ofrecen una panorámica global de lo que deben ser los parámetros fundamentales de la UE en 2020. Posteriormente se concretan una serie de objetivos nacionales para que cada Estado miembro pueda por sí mismo evaluar su avance hacia dichas metas. Los objetivos del plan 2020 están relacionados entre sí y deben potenciarse mutuamente, alcanzándose mediante la combinación de medidas nacionales y europeas.

En el ámbito de la distribución de energía eléctrica, la inclusión del concepto de Smart Grid (o red inteligente) se debe fundamentalmente a las necesidades de ahorro energético y la incorporación de energías renovables.

El primero de los conceptos implica el desarrollo de una red de telegestión y a una gestión activa de la demanda. De esta manera se podrán medir y gestionar los consumos del usuario de manera remota y en tiempo real. Esto permitirá conocer los hábitos de consumo de los usuarios, optimizando dicho consumo en base a su comportamiento.

El segundo concepto, la incorporación de energías renovables, logra los objetivos del plan 2020 referentes al incremento de generación de fuentes renovables y de la eficiencia energética ya que la generación se acerca al consumo. Esta idea se denomina generación distribuida y

	Documento:	Casos prácticos: Smartcity Málaga	Versión:	1A
	Módulo:	Panorámica de soluciones reales	Autor:	SET
	Referencia:	M4.3	Fecha:	4/12/17

consiste en la aparición de pequeños generadores repartidos en zonas cercanas a los lugares de consumo, evitando las pérdidas relativas al transporte y haciendo un uso más eficiente de la energía y de las redes.

Este tipo de generación provoca flujos energéticos bidireccionales, pudiendo comprometer la calidad de servicio, la seguridad, la sostenibilidad y la rentabilidad de la red. Por ello, y para mantener estos parámetros en unos valores aceptables, es necesario incorporar un sistema de gestión automatizada de la red, de manera que se actúe de forma automática ante incidencias en la propia red, posibilitando al sistema que se reconfigure por sí mismo y recuperando el servicio en un periodo de tiempo lo más breve posible.

Para construir esta infraestructura, la Smart Grid se apoya, desde el punto de vista eléctrico, en tres conceptos fundamentales que definen su arquitectura:

- **AMI (Advanced Metering Infrastructure):** es el conjunto formado por el hardware, el software y los sistemas asociados de comunicaciones, y el software de gestión de datos que conforman una red de comunicaciones que conecta contadores “inteligentes”, tanto de electricidad como de gas o de agua, con un sistema de información de la compañía eléctrica (o en su caso de agua o de gas) y que hace posible tanto la planificación de lecturas de datos de los contadores como la distribución bajo demanda de información a los consumidores y a terceras partes proveedoras de servicios.
- **DER (Distributed Energy Resources):** se corresponde con los sistemas de generación y almacenamiento distribuidos que permiten la reducción de las pérdidas debidas al transporte y la distribución de energía, gracias al acercamiento de los puntos de generación a los consumidores. Este tipo de sistemas permite también la reducción de la criticidad de los generadores individuales por medio del aumento del número de instalaciones y la diversificación de tecnologías.
- **ADA (Advanced Distribution Automation):** este sistema permite automatizar el telecontrol de la red, el mantenimiento y la capacidad de predicción. Además, permite ampliar los esquemas de protección e implementar mecanismos adaptativos de autoajuste en tiempo real.

Bajo este paradigma, Smartcity Málaga es un proyecto desarrollado sobre la red eléctrica de Endesa en la ciudad de Málaga (España). Se basa en la modernización y la optimización de la red de distribución eléctrica actual, por lo que no se construyen nuevas redes sino que se añaden e integran elementos y sistemas para mejorar la gestión de la red y optimizar su uso. De esta manera, el proyecto pretende acercarse al concepto de Smart Grid, con los beneficios que ello implica.

2.1 Objetivos del proyecto

El proyecto Smartcity Málaga tiene los siguientes objetivos principales:

1. Desarrollo e implantación práctica, en un entorno real, de todas las tecnologías de Smart Grids que afectan al negocio eléctrico.

	Documento:	Casos prácticos: Smartcity Málaga	Versión:	1A
	Módulo:	Panorámica de soluciones reales	Autor:	SET
	Referencia:	M4.3	Fecha:	4/12/17

2. Testeo y análisis de tecnologías de Telegestión a gran escala.
3. Automatización de la red y despliegue de infraestructura de comunicaciones para monitorización y control en tiempo real.
4. Validación e implementación práctica de las conclusiones del proyecto DENISE.
5. Integrar generación renovable y almacenamiento en media y baja tensión, aplicando técnicas de supervisión y control para el óptimo aprovechamiento de los recursos naturales.
6. Gestión activa de la demanda, mediante actuaciones en los consumos, en la generación y en el almacenamiento de energía.
7. Desarrollo de sistemas de gestión eficiente de la energía a nivel doméstico y pymes, además de en alumbrado público de la ciudad.
8. Desarrollo y validación de tecnologías de carga del vehículo eléctrico, V2G.

3 Automatización de la red de distribución de Málaga

La zona donde se desarrolla el proyecto Smartcity Málaga cuenta con 11000 clientes domésticos, 900 de servicios y 300 industriales (Figura 1). La estructura de la red para este proyecto consta de dos subestaciones eléctricas AT/MT (66/20 kV), Polígono y San Sebastián. En la primera de ellas se encuentra conectado un grupo de cogeneración de la Estación Depuradora de Aguas Residuales (EDAR) del Guadalhorce que es el principal nodo generador de energía de la zona. La segunda dispone de más de una decena de líneas de Media Tensión que distribuyen la energía eléctrica en la mayor parte de la zona correspondiente al proyecto. Sobre cinco de ellas se centran los trabajos de automatización y comunicación de la red, sumando un total de 72 Centros de Distribución MT/BT (20kV/400V) y 40 km de líneas de MT.



Figura 1. Red de distribución de Smartcity Málaga

A estos 72 centros se deben sumar cerca de una decena que, aunque no se encuentran conectados a las cinco líneas comentadas, dan servicio a elementos, instalaciones y agentes integrados en la zona de Smartcity Málaga, por lo que también se consideran dentro del ámbito del proyecto.

Previamente, la zona contaba con sus propios sistemas de generación distribuida, suponiendo un total de algo más de 13 MW de potencia instalada:

	Documento:	Casos prácticos: Smartcity Málaga	Versión:	1A
	Módulo:	Panorámica de soluciones reales	Autor:	SET
	Referencia:	M4.3	Fecha:	4/12/17

- una central de cogeneración de gas natural, situada en la EDAR del Guadalhorce (10 MW).
- una unidad de trigeneración en las dependencias de la Diputación de Málaga (2.74 MW).
- diversas instalaciones solares fotovoltaicas (cercano a 300 kW).

A la vista de estos datos, puede afirmarse que la zona de Smartcity disponía inicialmente de una cuota de generación renovable aceptable. También es de destacar la capacidad remanente de las líneas, es decir, la capacidad de red infrautilizada durante la mayor parte del tiempo. Esta capacidad es importante ya que permite afrontar con seguridad el crecimiento de la demanda en la zona, apoyar en caso de saturación o avería a otras líneas que lo necesiten y afrontar la demanda de nuevos servicios que se den en el futuro.

3.1 Tecnologías de la información y la comunicación en la Smart Grid de Málaga

El concepto de Smart Grid del proyecto Smartcity Málaga se apoya en un marco de comunicaciones altamente fiable que soporta las funcionalidades que dotan de inteligencia a la red. Esto implica utilizar una nueva infraestructura de comunicaciones con ancho de banda suficiente, baja latencia y alta fiabilidad para los servicios implementados.

Los 40 km de líneas de MT se conectan mediante tecnología PLC de banda ancha, permitiendo la comunicación entre los Centros de Distribución del proyecto, así como los servicios conectados a ellos a nivel de BT. Esta tecnología se complementa con WiMAX y 3G, formando de esta manera una arquitectura redundante en anillos. Asimismo, se encuentra conectada con el resto de redes de comunicaciones corporativas de Endesa (Figura 2).

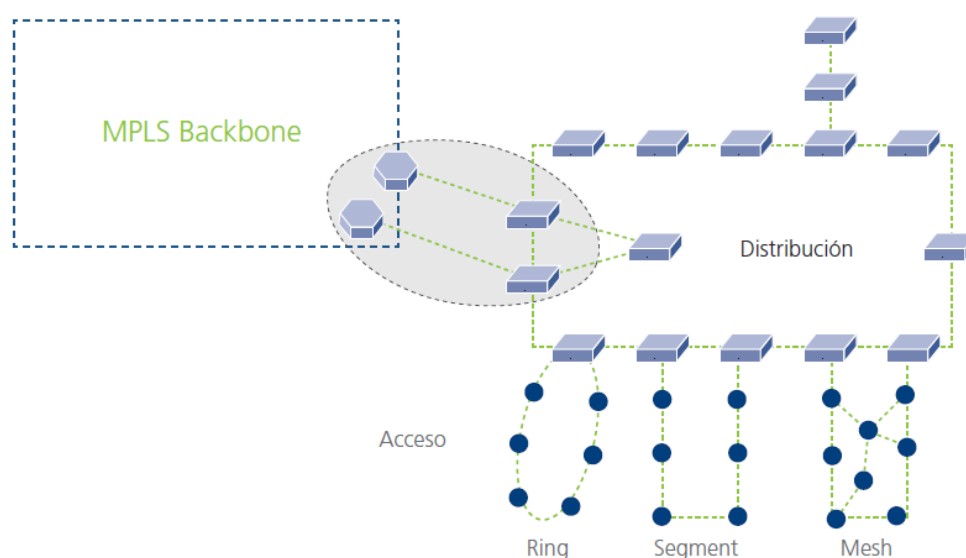


Figura 2. Topología de la red de comunicaciones

	Documento:	Casos prácticos: Smartcity Málaga	Versión:	1A
	Módulo:	Panorámica de soluciones reales	Autor:	SET
	Referencia:	M4.3	Fecha:	4/12/17

Como puede observarse en la Figura 2, la red de comunicaciones del proyecto se compone de tres partes: *MPLS Backbone* (red troncal corporativa de Endesa que interconecta los centros de decisión y las oficinas centrales y regionales), la red de distribución (interconecta los centros de control regionales con todas las subestaciones de AT del área correspondiente) y la red de acceso (comunica los Centros de Transformación con la red de distribución). Por debajo de la red de acceso, los clientes de BT se conectan con el Centro de Transformación correspondiente por medio de PLC de banda ancha o estrecha dependiendo del tipo de cliente o aplicación.

La topología de la red de distribución es principalmente en anillo, con enlaces de tipo Gigabit Ethernet de fibra óptica. Para cada segmento se han utilizado VLANs diferentes, alternando los identificadores de VLAN dentro de segmentos adyacentes de manera que se puedan aislar los diferentes servicios.

3.2 Telegestión

La telegestión es un sistema integrado de gestión remota y automática de contadores eléctricos, basada en nuevas tecnologías de información, electrónica y comunicaciones. Este sistema se basa en un nuevo contador inteligente, o *Smart meter*, que sustituye a los antiguos equipos de medida. Estos *Smart meters* necesitan la operación conjunta de concentradores instalados en los Centros de Transformación así como de las comunicaciones y enlaces con los sistemas de la compañía distribuidora. Por sus características, los *Smart meters* participan en las funciones AMI, DER y ADA:

- Tarificación según franjas horarias -> AMI
- Limitación de potencia según contrato -> AMI
- Desconexión por falta de pago (y restablecimiento) -> AMI
- Cuantificación de energía inversa si hay un balance negativo -> DER
- Envío de información hacia la distribuidora -> ADA y AMI
- Medida de calidad de onda (huecos de tensión) -> ADA y AMI

El sistema de telegestión implantado por Endesa en el proyecto Smartcity Málaga supone una evolución de la solución desarrollada anteriormente por Enel, añadiendo robustez, velocidad, seguridad y funciones avanzadas a las características de esta última.

Este nuevo sistema proporciona importantes mejoras en la relación del usuario con la distribuidora eléctrica. Entre las principales destaca la realización remota de las operaciones de alta, baja, cortes, reconexiones, control de potencia y cambios de tarifa de forma prácticamente inmediata y sin intervención de usuarios ni operarios. Además, la telegestión facilita una lectura exacta y en plazo, posibilitando la programación a distancia de esquemas avanzados de tarifas que permitan una facturación más flexible, así como proporcionando información fiable sobre el comportamiento de la red.

	Documento: Casos prácticos: Smartcity Málaga Módulo: Panorámica de soluciones reales Referencia: M4.3	Versión: 1A Autor: SET Fecha: 4/12/17
---	---	---

3.3 Automatización de la red

El principal objetivo de la automatización de la red de distribución es la optimización de las operaciones del sistema, minimizando sus pérdidas y solucionando situaciones eventuales de sobrecarga. El concepto manejado de red auto-cicatrizante implica la automatización del proceso de reposición y reconfiguración de la red, con el objetivo de reducir el tiempo de interrupción y minimizar el número de maniobras necesarias para aislar los tramos afectados por faltas y reponer el servicio. Para ello, el proyecto Smartcity Málaga define dos nuevos tipos de dispositivos denominados *iNode* e *iSocket* para la automatización de la red.

Estos dispositivos y este campo de aplicación constituyen el principal alcance de IEC 61850 en el proyecto, lo que lo convierte en un estándar muy relevante en la nueva operación de la red. La tecnología de comunicación implementada en los *iNodes* e *iSockets* para las tareas descritas está basada en protocolos IEC 61850, principalmente MMS para el servicio de Report.

3.3.1 iNode e iSocket

Los *iNodes* son los dispositivos sobre los que delega el centro de control para automatizar la gestión de la red. Estos equipos se encargan de ejecutar los algoritmos y procedimientos definidos en el proyecto, siendo capaces de actuar con autonomía, aunque siempre en función de los requisitos que le imponga el centro de control ante la toma de decisiones. En todo momento, el centro de control puede adquirir el control total de un segmento de la red.

Por su parte, los *iSockets* conectan los *iNodes* con los puntos de generación, consumo y almacenamiento. Siguen las órdenes y directrices de los *iNodes* superiores y reportan toda la información local para el correcto funcionamiento del sistema (Figura 3).

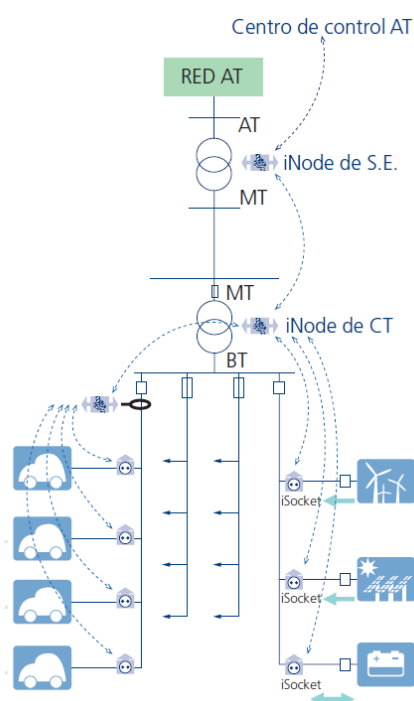


Figura 3. Ejemplo de arquitectura iNode-iSocket

	Documento: Casos prácticos: Smartcity Málaga Módulo: Panorámica de soluciones reales Referencia: M4.3	Versión: 1A Autor: SET Fecha: 4/12/17
---	---	---

Dentro del proyecto, y como puede observarse en la Figura 3, se han definido dos tipos diferentes de *iNode*, uno en el nivel de subestación (*iNodeSE*) y otro en el nivel de Centro de Transformación (*iNodeCT*). Ambos son los encargados de ejecutar los algoritmos de control de la red de distribución, así como de gestionar la generación distribuida junto con los *iSockets*. Estos dispositivos (*iNode-iSocket*) son también un producto para el sector del almacenamiento de energía, la eficiencia y la medición inteligente.

Entre las funciones principales de un *iNode* destacan:

- **AMI:** Concentrador de telegestión
 - o Lectura y totalización de concentradores (energía, V, f, etc.)
 - o Totalización (anti-fraude)
 - o Balance de fases
 - o Límite de potencia
- **ADA:** Automatización avanzada
 - o Auto-cicatrización: detección conjunta, aislamiento, recuperación de faltas
 - o Operación de la red
 - o Gestión de descargos
 - o Automatización de línea
- **DER:** Regulación de microgrids
 - o Regulación o posible limitación de generación de potencia activa (AGC)
 - o Regulación de tensión
 - o Compensación de reactiva
 - o Posible deslastre de generación y consumo

Entre las funciones principales de un *iSocket* destacan:

- **AMI:** Concentrador de telegestión
 - o Lectura (energía, V, f, etc.)
 - o Totalización (anti-fraude)
 - o Asociación línea BT y fase-cliente
 - o Balance de fases
 - o Facturación en tiempo real
 - o Deslastre, falta de pago. Límite de potencia
- **ADA:** Automatización avanzada
 - o Auto-cicatrización: detección de faltas

	Documento:	Casos prácticos: Smartcity Málaga	Versión:	1A
	Módulo:	Panorámica de soluciones reales	Autor:	SET
	Referencia:	M4.3	Fecha:	4/12/17

- o Medida de corriente por línea BT
- o Operación de la red
- o Gestión de descargos
- o Totalización
- o Asociación cliente-línea
- o LV-Scada
- **DER:** Regulación microgrids
 - o Regulación o posible limitación de generación de potencia activa (AGC)
 - o Regulación de tensión
 - o Compensación de reactiva
 - o Posible deslastre de generación y consumo

3.3.2 Red de Media Tensión

En CTs seleccionados de la red del proyecto Smartcity se automatiza la operación de los seccionadores en carga que participan en el proceso de reposición de servicio, gestionado y ordenado por los *iNodes* y basado en la comunicación IEC 61850 entre estas entidades y el centro de control.

La solución de Automatización adoptada en el proyecto implementa las siguientes funcionalidades. Todas ellas están destinadas a implementar una actuación coordinada que minimice el tramo de red fuera de servicio por la falta y el tiempo de reposición:

- Actuación automática en dispositivos del segmento afectado por la falta. La actuación automática se realiza sobre los seccionadores actuales incluyendo una motorización inferior a 100 ms.
- Telemando en puntos frontera, de aislamiento de segmentos mayores, con medidas de tensión en ambos extremos. La monitorización es convencional dado que no deben actuar automáticamente.
- El Centro de Control tiene potestad para bloquear la actuación automática de los dispositivos. Para ello dispone de información del estado de los mismos en tiempo real.
- En todos los puntos de actuación se instalarán detectores de paso de falta direccionales. También habrá telemetría en cada uno de esos puntos de actuación.

El automatismo de despeje de faltas y reposición del servicio diseñado e implementado en el proyecto ha requerido el desarrollo de nuevos algoritmos de detección de incidencias y auto-cicatrización de la red. El sistema de localización de faltas se basa en la instalación de detectores de paso de falta (direccionales y no direccionales) en los CTs automatizados. Las principales utilidades de estos sensores son la detección de la presencia de tensión MT en la

	Documento:	Casos prácticos: Smartcity Málaga	Versión:	1A
	Módulo:	Panorámica de soluciones reales	Autor:	SET
	Referencia:	M4.3	Fecha:	4/12/17

línea, comprobación de apertura en vacío del seccionador automático, detección de líneas de MT cortadas, polarización de defectos direccionales, etc.

Los detectores de paso de falta detectan si ha circulado por ellos una intensidad igual o superior a la corriente de falta ajustada. En redes no automatizadas, estos equipos indican visualmente y de modo local si han detectado corriente de falta de manera que los operarios desplazados a los distintos CTs puedan guiarse en la localización de los elementos que deben maniobrar. Estos detectores informan de manera remota al *iNode* para que éste inicie, de modo automático, el proceso de aislamiento del tramo en falta y reposición del servicio de forma más eficiente, rápida y precisa.

3.3.3 Red de Baja Tensión

La automatización en el lado de BT integra la funcionalidad de supervisión avanzada. Esto es posible gracias a la instalación de sensores toroidales autoalimentados sobre los fusibles que protegen las líneas de BT. Dichos sensores permiten obtener la medida de corriente de cada uno de los circuitos de BT, así como el estado de los fusibles. Los datos registrados son enviados a un equipo receptor integrado en el armario de comunicaciones del Centro de Transformación, de modo que los dispositivos de control de la red disponen de toda la información necesaria. Esto permite disponer de información en tiempo real y monitorizar en todo momento la red eléctrica de BT.

3.4 Generación distribuida

La conexión de generación distribuida en la red de distribución, concebida en su origen para ser explotada de forma radial y con flujos unidireccionales de energía, presenta una serie de retos:

- **Impacto en la regulación de tensión de la red:** la regulación de tensión en la red de distribución actual se basa en una red radial, llevándose a cabo principalmente en el punto de suministro mediante, por ejemplo, regulación de tomas de transformadores de distribución o compensación de reactiva. La conexión de fuentes de generación distribuidas puede causar un aumento en la tensión bajo ciertas circunstancias. Asimismo, el comportamiento de los generadores distribuidos respecto a la potencia reactiva, según el generador suministre o absorba, puede causar elevación o caída en la tensión de la red.
- **Impacto en el equilibrio de tensiones:** es posible que se introduzcan pequeños desequilibrios en la tensión trifásica de la red en el caso de conexión de pequeños generadores monofásicos.
- **Sincronización:** es necesario que la conexión de fuentes de generación a la red se haga bajo unas condiciones de sincronismo, que exigen que la diferencia de módulo, fase y frecuencia de la tensión entre el generador y la red no exceda unos límites. En caso de conexión fuera de sincronismo, pueden producirse efectos perniciosos como daños en el generador o la afección a la tensión de la red.

	Documento:	Casos prácticos: Smartcity Málaga	Versión:	1A
	Módulo:	Panorámica de soluciones reales	Autor:	SET
	Referencia:	M4.3	Fecha:	4/12/17

- **Contenido de armónicos:** los equipos utilizados en los sistemas de generación pueden introducir armónicos no deseados en la red. Los sistemas fotovoltaicos presentan principalmente contribuciones de armónicos de tercer, quinto y séptimo orden.
- **Variabilidad:** gran parte de las unidades de generación distribuida plantean la utilización de fuentes de energía renovable, siendo ésta una de las ventajas de este escenario. El principal problema que surge es el de la intermitencia en la disponibilidad del recurso primario.
- **Impacto de la generación distribuida en el sistema de protección de la red:** la incorporación de este tipo de generación en la red de distribución implica variaciones en la magnitud y dirección de las corrientes de falta, dependiendo de la ubicación de la misma. La aportación de los generadores conectados en la línea de MT en falta puede causar errores en los detectores.

A pesar de los inconvenientes que puede presentar la generación distribuida, se derivan ciertas ventajas estratégicas:

- Reducción de pérdidas debidas al transporte y la distribución de energía gracias a la proximidad entre generación y consumo, aumentando la eficiencia del sistema.
- Diversificación de tipo y número de generadores, gracias a lo cual se consigue reducir la criticidad de cada uno de los generadores individuales. Es importante utilizar distintas fuentes de energía primaria para combatir la intermitencia.
- Control de tensión y gestión de potencia reactiva. Con el adecuado control de la generación distribuida, el posible efecto en la regulación de tensión debe contribuir a mejorar el perfil de tensiones de la red de distribución.
- Uso de energías renovables. Aunque las unidades de generación distribuida no son necesariamente de origen renovable, una Smart Grid debe plantear la utilización de la inteligencia con que se dota a la red de distribución para maximizar la integración de recursos renovables en la misma.

Las ventajas de disponer de recursos distribuidos únicamente son posibles en una red automatizada, con un sistema de control descentralizado que gobierne los flujos de energía para mejorar la calidad, mantenimiento y seguridad del suministro. Estos algoritmos de control se implementan en los dispositivos *iNodes* e *iSockets*, desarrollados gracias a las tecnologías de la información y comunicación.

3.4.1 Sistemas de generación y almacenamiento distribuidos de Smartcity Málaga

El proyecto Smartcity Málaga ha integrado en la red de distribución de la ciudad diversos sistemas de generación y almacenamiento distribuidos, conectados en los niveles de MT y BT. Estos sistemas se corresponden con 10 instalaciones de generación renovable y 2 de almacenamiento de baterías. La Figura 4 muestra la ubicación de estas instalaciones sobre un plano de la zona:



Figura 4. Generación y almacenamiento distribuido en Smartcity Málaga

Los modos de almacenamiento implementados en el proyecto se pueden clasificar en: almacenamiento discrecional (como el realizado por el VE), almacenamiento instantáneo (como el de adaptación de la conexión a la red de farolas con aerogenerador) y almacenamiento estacionario (destinado a usos muy estables).

3.5 Eficiencia energética y gestión de la demanda

Un sistema avanzado de gestión de la demanda permite conocer los consumos en tiempo real, hacer una previsión de demanda para el día posterior, adaptar dicho consumo a la curva de precios estipulada para su optimización, detectar consumos inapropiados, anticiparse a su facturación mediante herramientas de análisis, planificar el consumo o ajustarlo a un valor objetivo y agregar los consumos de varias sedes.

Este marco de la eficiencia energética ha tenido varios ámbitos de actuación en el proyecto que se extienden desde el alumbrado público a la eficiencia en consumos de pymes, edificios emblemáticos y usuarios residenciales.

El sistema de gestión activa de la demanda (SGAD) implementado en el proyecto se articula en torno a dos sistemas: SGAD-Energía y SGAD-Potencia. Estos sistemas presentan procesos automáticos no intrusivos, respetando los parámetros mínimos de utilidad y confort fijados

	Documento:	Casos prácticos: Smartcity Málaga	Versión:	1A
	Módulo:	Panorámica de soluciones reales	Autor:	SET
	Referencia:	M4.3	Fecha:	4/12/17

por el cliente. La implementación de estos sistemas requiere la intervención de la Empresa de Servicios Energéticos (ESE), la distribuidora, la comercializadora y los propios clientes.

3.6 Vehículo eléctrico

Una microrred, como la desplegada en Smartcity Málaga, puede definirse como una pequeña red en BT capaz de integrar fuentes de generación, almacenamiento de energía y cargas gestionables que potencialmente pueden funcionar como pequeñas islas de energía, unidades energéticamente autosuficientes aunque conectadas a la red. Puede entenderse entonces la red eléctrica como un conjunto de microrredes interconectadas y gestionadas de un modo inteligente.

Un vehículo eléctrico puede considerarse una microrred en sí mismo, ya que puede funcionar en modo autónomo o conectado a la red eléctrica. Dispone de consumos provenientes del motor, de potenciales generaciones eléctricas provenientes de su sistema de frenado, de un sistema de almacenamiento de energía en sus baterías y cargas diversas (sistemas de control, frenos, ventilador, aire acondicionado, etc.). Todos estos sistemas y equipos están gestionados por diferentes estrategias de control que dependen tanto del tipo de conducción como de su conexión o no a la red eléctrica.

Los VEs, cuando están conectados a la red eléctrica, son capaces de cargar sus baterías o de descargarlas en la red mediante la tecnología V2G (*Vehicle To Grid*). Esto supone una oportunidad para mejorar la eficiencia del sistema ya que la carga o descarga de las baterías puede realizarse en el momento elegido por los usuarios y por el sistema de gestión de la red. Recargar las baterías de estos vehículos durante los periodos de menor demanda (noche), permite aplanar la curva de demanda al disminuir las diferencias entre periodos. En sentido contrario, la descarga parcial de las baterías en los periodos de mayor demanda permite disminuir la exigencia de generación de energía de las centrales.

La tecnología V2G puede jugar un papel de gran importancia para integrar las energías renovables. Por ejemplo, la producción eólica, generada mayoritariamente por la noche, presenta una gran variabilidad. Dado que no es posible su almacenamiento existe la posibilidad de que no se pueda dar entrada en el sistema a toda la energía eólica que se produce. Por ello, recargar los vehículos eléctricos durante el periodo nocturno ayudará a aprovechar esta energía. Por otro lado, esa energía renovable almacenada podrá ser devuelta a la red durante los periodos de mayor demanda.

Dentro de Smartcity Málaga, se ha realizado el despliegue de una infraestructura de recarga de vehículos eléctricos con capacidad V2G, formada por un punto de recarga instalado en la vía pública, diseñado específicamente con los requerimientos de dicha tecnología, que da soporte a un vehículo eléctrico convencional modificado para dotarlo de capacidad V2G.

	Documento: Casos prácticos: Smartcity Málaga Módulo: Panorámica de soluciones reales Referencia: M4.3	Versión: 1A Autor: SET Fecha: 4/12/17
---	---	---

4 Smartcity Málaga en cifras. Impacto del proyecto

Algunos de los datos relevantes de la zona de la red de distribución de la ciudad de Málaga son los siguientes:

- 5 líneas MT (20 kV), con 40 km de circuitos
- 72 Centros de Transformación MT/BT comunicados
- 300 clientes industriales, 900 de servicios y 11000 domésticos
- 63 MW de potencia contratada
- 70 GWh/año de consumo, lo que supone una emisión de 28000 toneladas de CO₂ anuales

El objetivo último del proyecto ha sido trasladar a su zona de actuación los objetivos de la Unión Europea comentados en la introducción de este capítulo, esto es:

- Una cuota del 20% de energía procedente de fuentes renovables en el consumo final bruto.
- Una reducción del 20% de las emisiones de gases de efecto invernadero con respecto a los niveles de 1990.
- Una reducción del 20% en el consumo de energía primaria con respecto a los niveles tendenciales.

4.1 Incremento del uso de energías renovables

El proyecto ha intentado conseguir una mayor integración de las fuentes de energía renovables dentro de la red eléctrica. Las principales ventajas son que estas energías son más limpias que los procesos de generación convencionales asociados a combustibles fósiles, y que se reducen las pérdidas de energía en la red debido a que se acerca la generación al consumo.

Smartcity Málaga ha demostrado cómo es posible conseguir un aumento de la generación renovable. En la Figura 5 se muestra un gráfico con la evolución temporal del incremento del uso de renovables, entre octubre de 2012 y enero de 2013, por medio de la representación de los valores del cálculo diario y mensual. A pesar de la fluctuación de los valores diarios, el valor medio mensual del objetivo se sitúa cercano al 15%.



Figura 5. Incremento de uso de las energías renovables

4.2 Reducción de emisiones de CO₂

El objetivo de ahorro de emisiones de CO₂ en el proyecto se sitúa en torno al 20% del consumo anual. Esto se traduce en alrededor de 6000 toneladas anuales de CO₂ solamente en la zona del proyecto.

En la gráfica de la Figura 6 se muestra la evolución temporal en la reducción de emisiones de CO₂, en el periodo comprendido entre octubre de 2012 y enero de 2013, por medio de las curvas de cálculo diario y mensual. En el gráfico puede verse cómo el valor medio mensual, que muestra la tendencia de manera más firme que el diario, se sitúa por encima del 15%. Esta reducción de CO₂ procede, fundamentalmente, del ahorro alcanzado en el consumo en alumbrado público, y en los clientes de elevada potencia contratada, del segmento residencial y pymes, así como a la disminución de las pérdidas técnicas de energía, a la utilización del vehículo eléctrico, y a la generación de renovables en media y baja tensión en la zona.



Figura 6. Reducción de emisiones de CO₂

4.3 Mejora de la eficiencia energética

Las iniciativas promovidas en el proyecto persiguen un mejor aprovechamiento de los recursos disponibles, tratando de disminuir en la medida de lo posible las pérdidas de los distintos sistemas y proporcionando a los usuarios finales diferentes tecnologías y aplicaciones que les permitan realizar un uso más eficiente de la energía.

La Figura 7 muestra una gráfica de la evolución temporal en la mejora de la eficiencia energética, en el periodo comprendido entre octubre de 2012 a enero de 2013, por medio de las curvas de cálculo diario y mensual. En este caso, el valor mensual se encuentra por encima del 25% debido principalmente a la eficiencia del sistema de distribución y a la eficiencia en el consumo de energía.



Figura 7. Mejora de la eficiencia energética

4.4 Impacto del proyecto

Smartcity Málaga ha supuesto para la ciudad de Málaga la implantación de un gran laboratorio real de tecnologías de Smart Grids del futuro, lo cual ha provocado que la ciudad se haya convertido en una ventana al mundo de dichas tecnologías. Este *living-lab* ha supuesto la modernización de la red de distribución eléctrica de la zona de implantación, dotándola de infraestructuras que mejoran su operación y, al mismo tiempo, permiten ampliar el abanico de funcionalidades de la red. El despliegue realizado deja la puerta abierta a futuras aplicaciones de Smart Grids.

4.4.1 Experiencia internacional

A partir de la experiencia adquirida en el proyecto Smartcity Málaga, el Grupo Enel, en el que se integra Endesa, ha comenzado nuevos proyectos de ciudades inteligentes como Barcelona (España), Búzios (Brasil), El Hierro (España), Santiago de Chile (Chile) o Ciudad Salitre (Bogotá).

El primero de ellos, Barcelona, tiene como objetivo el desarrollo de una red inteligente, que permita un mayor ahorro y una gestión eficiente y sostenible. Por ello se han instalado nuevos sistemas de automatización, alumbrado eficiente con sistemas de control, sistemas de recarga

	Documento:	Casos prácticos: Smartcity Málaga	Versión	1A
	Módulo:	Panorámica de soluciones reales	Autor:	SET
	Referencia:	M4.3	Fecha:	4/12/17

de VE y las tecnologías de la información y comunicación necesarias. Todo esto supondrá una inversión de más de 100 millones de euros. En la primera fase del proyecto se beneficiarán unos 50000 clientes bajo una red integrada por 7 subestaciones, 85 líneas de MT, 568 Centros de Distribución y una potencia contratada de 527000 kW, extendiéndose progresivamente a toda la ciudad.

El proyecto *Cidade Inteligente Búzios*, en Brasil, se basa en la misma filosofía. Además de automatizar la red de distribución, la transformación comprende acciones como el despliegue de más de 200 *Smart meters*, 30 elementos de alumbrado público mediante tecnología LED, puntos de recarga para VE, integración de recursos distribuidos o la puesta en marcha de un centro de control y monitorización.

Otro proyecto que aprovecha las experiencias y desarrollos de Smartcity Málaga es el proyecto Smart Island en la isla de El Hierro. En él se combina el despliegue de tecnologías de movilidad eléctrica, la integración de renovables y de almacenamiento de energía, así como de los sistemas de Telegestión, buscando el máximo nivel de abastecimiento. Se pretende alcanzar una isla 100% renovable con la puesta en funcionamiento de la central hidroeléctrica de la isla que, acompañada de la introducción total del vehículo eléctrico, permitirá que se convierta en una isla con cero emisiones.

Smartcity Santiago es el primer prototipo de ciudad inteligente de Chile, que se está desplegando en el distrito Ciudad Empresarial de Santiago. Allí se va a probar la integración de tecnologías como el Smart metering, automatización de red, vehículo eléctrico, la iluminación pública y la generación distribuida, evaluando sus aspectos económicos, técnicos y sociales. Este proyecto ya ha comenzado el desarrollo de distintas iniciativas que combinarán innovación, eficiencia y sostenibilidad (transporte público eléctrico, instalación de una electrolinera, tecnología solar para el calentamiento de agua, alumbrado público LED, etc.) con la construcción de un *showroom* interactivo que se usará para fines académicos y de investigación, desde el cual se podrá monitorizar y registrar su evolución.

	Documento:	Casos prácticos: Smartcity Málaga	Versión:	1A
	Módulo:	Panorámica de soluciones reales	Autor:	SET
	Referencia:	M4.3	Fecha:	4/12/17

5 Conclusiones

La red eléctrica del futuro o Smart Grid será una red eléctrica que integre de manera inteligente las acciones de todos los agentes conectados a ella, tanto generadores como consumidores o una combinación de ambas figuras, con el objetivo de suministrar energía eléctrica de manera eficiente, sostenible, económica y segura. Para ello usará sensores, sistemas de procesamiento de señal y comunicaciones digitales que permitirán que la red sea observable, controlable e integrada.

El concepto de Smart Grid se ha convertido en una necesidad debido principalmente a los siguientes factores:

- Lucha contra el cambio climático promovida en Europa con el plan 2020.
- Optimización de las infraestructuras de distribución eléctrica, permitiendo reducir la inversión en nuevas infraestructuras o en la renovación de las existentes, garantizando o mejorando la calidad y seguridad actuales.
- Mejora de la eficiencia.
- Nuevas necesidades del usuario final. Ahora éste es consciente de que puede obtener ahorros importantes adaptando sus condiciones de consumo.
- Vehículo eléctrico, que supondrá un impacto en la red eléctrica y un efecto positivo en el medio ambiente si la energía procede de fuentes renovables.

Para dar respuesta a todas estas necesidades, el proyecto Smartcity Málaga ha implementado una serie de funcionalidades que pretenden resolver esta problemática y dar algunas ventajas adicionales:

- **Telegestión:** medida y gestión remota de los consumos, que permite conocer los perfiles de uso de la energía por parte de los consumidores, posibilitando ofertas con un rango más amplio de tarifas y servicios adecuados a las necesidades de cada usuario.
- **Gestión automatizada de la red de distribución:** permite una operación automática de la red frente a incidencias o mal funcionamiento, de modo que el sistema realiza una reconfiguración automática, recuperando el servicio en cortos espacios de tiempo y llevando a cabo mantenimiento predictivo de la infraestructura.
- **Generación distribuida:** pequeños generadores (renovables o no renovables) distribuidos y conectados en zonas cercanas a los lugares de consumo, evitando las pérdidas asociadas al transporte y haciendo un uso más eficiente.
- **Almacenamiento distribuido:** dispositivos de almacenamiento de energía distribuidos en la Smart Grid, cerca de las zonas de consumo, que permiten flexibilidad en la gestión de la energía y un aplanamiento de la curva de demanda.

	Documento:	Casos prácticos: Smartcity Málaga	Versión:	1A
	Módulo:	Panorámica de soluciones reales	Autor:	SET
	Referencia:	M4.3	Fecha:	4/12/17

- **Gestión Activa de la demanda:** permite a la compañía distribuidora gestionar algunas cargas conectadas a la red en base al comportamiento de cada cliente y a un rango de confort definido por el usuario final, optimizando la gestión energética mediante un servicio avanzado que da a conocer consumos en tiempo real y permite hacer previsiones de demanda.
- **TIC:** Las tecnologías de la información y la comunicación son una de las claves que posibilitan el despliegue de las redes inteligentes. La necesidad de recibir y enviar información es clave para poder realizar una gestión avanzada de la red. Estas tecnologías, tanto inalámbricas como por cable, son imprescindibles para disponer de la información necesaria y en tiempo, y enviar las consignas que habilitan las funcionalidades de la Smart Grid.



Edificio CIRCE - Campus Río Ebro
Universidad de Zaragoza - Mariano Esquillor Gómez, 15
50018 Zaragoza
Tel.: 976 761 863 Fax: 976 732 078
e-mail: circe@unizar.es

