

## RESUMEN

La industria eléctrica de potencia está siendo sacudida por una idea que va tomando forma: las smart grids. En la actualidad se habla de ellas en todos los foros internacionales sobre el futuro de la red eléctrica y muchas empresas exhiben su modernidad asegurando contar con una o varias de estas redes entre sus infraestructuras, aun cuando sea este un concepto en desarrollo, que aún deberá evolucionar y que tiene importantes retos por resolver en varios de sus frentes. Una red de distribución tradicional, dotada de contadores inteligentes en sus usuarios es sólo eso: una red con contadores inteligentes. Eso no la convierte en una smart grid, aunque ayude.

Tres aspectos pueden considerarse claves para llegar a las smart grids:

a) La estructura de la red debe responder al concepto de red inteligente, es decir, ser resistente a fallos, por ejemplo provocando la separación automática de cualquier elemento averiado sin afectar al funcionamiento del resto de la red; ser flexible para permitir la conexión o desconexión de cargas y generadores distribuidos, mantener un funcionamiento eficiente bajo diversos estados de carga, etc.

b) La red debe abrir las posibilidades de participación de grandes y pequeños generadores así como de los usuarios, permitiendo nuevas posibilidades de negocio y de participación activa, de manera que la generación o el consumo "inteligentes" se vean beneficiados.

c) Todos los participantes deben tener acceso fácil a la información necesaria para poder elegir la mejor estrategia de funcionamiento en cada caso.

En lo que respecta a la primera condición (a) hay importantes retos por resolver: automatización de la red, diseño óptimo, desarrollo de nuevas protecciones y equipos de control, etc. A fecha de hoy no puede afirmarse con rotundidad si las redes del futuro (supuestas smart grids) funcionarán en corriente alterna o en corriente continua, ya que esta última ofrece ventajas en muchos aspectos de funcionamiento y de control. En cualquier caso será necesario desarrollar equipos adaptados a los nuevos problemas y nuevas necesidades que se generarán en estas redes. Esos equipos deberán ser normalizados, para lo cual será necesario definir ensayos que tengan en cuenta aspectos que actualmente no suelen ser necesarios, como la presencia de perturbaciones en la tensión, u otros. En este sentido, aunque de forma marginal, se ha colaborado con un laboratorio para ensayos eléctricos, la Flex Power Grid Lab Research Infrastructure del DNV KEMA en los Países Bajos, en la definición y realización de algunos ensayos, como se indica en el *Capítulo 3. Smart grids*.

En el aspecto segundo (b), son necesarios profundos cambios sociales y, sobre todo, legislativos. En cualquier caso, el primer paso consiste en saber cómo es el consumo de los receptores, de qué manera puede variarse la demanda, qué influencia puede tener la pequeña generación (renovable principalmente) y el almacenamiento de energía, etc. Disponer de modelos precisos que proporcionen esta información es clave para que los actores de la red puedan establecer sus mejores estrategias. Es importante destacar que una demanda inelástica, como la que presentan muchos consumidores en la actualidad, deja el mercado en manos de las grandes empresas, mientras que una demanda elástica permite acciones de Respuesta de la Demanda, ofertando servicios a la red como eliminación de sobrecargas, control de tensión, reserva de potencia, etc. En la tesis se analizan muchos aspectos relacionados con la demanda de energía y se aborda el problema del control de la participación de diversos recursos y diversos agentes en el funcionamiento del sistema y en el *Capítulo 3. Smart grids* se muestra el software de gestión y control (en cuyo diseño y desarrollo se ha colaborado) de una pequeña smart grid que existe en el laboratorio LabDER de la Universitat Politècnica de València (en adelante, UPV), donde se integran diversos recursos en función de las necesidades de la demanda, los precios de la energía, etc.

En la tercera condición (c) hay, también, grandes retos por resolver, como la gestión masiva de información y el incremento en el volumen de tránsito de datos que puede representar. Está claro que los contadores inteligentes son un elemento importante para permitir el desarrollo futuro de este complejo sistema de comunicaciones, pero además es necesario dotar a las instalaciones receptoras de sus propios sistemas de comunicación y sus centros de control individuales, desde los que se gestione eficientemente la instalación. También los pequeños generadores distribuidos y los sistemas de almacenamiento de energía deberán estar dotados de potentes sistemas de comunicación para recibir

gran cantidad de información, así como de centros de control propios que diseñen las políticas óptimas de generación. En lo referente al uso de la información, en la tesis se proponen diferentes algoritmos para facilitar el tratamiento de los datos disponibles a la hora de optimizar la gestión de los recursos de una smart grid o tomar decisiones de cara a participar en programas de respuesta de la demanda, tal como puede verse en el *Capítulo 8. Sistemas de Gestión Energética para Smart Customers*.

En el funcionamiento de las smart grids son objetivos de gran importancia la eficiencia energética y el aprovechamiento óptimo de los recursos energéticos renovables. El ahorro de energía redundante en un menor consumo (por ende menor impacto ambiental, al requerirse menos generación) y una reducción de los costes energéticos del usuario. Es además una fuente potencial de reducción de demanda, susceptible de ser ofertada por los consumidores a la red. Pero este ahorro debe cuantificarse, lo cual no resulta fácil. A partir de los datos del consumo, no es evidente cuál es el consumo evitado que se está consiguiendo. Son necesarios tanto modelos de carga como modelos de respuesta de las instalaciones ante las acciones de control. La desconexión de un servicio centralizado en un edificio (climatización, por ejemplo) puede provocar la conexión de equipos individuales que hagan que la variación del consumo sea mucho menor que la esperada. Por tanto, se requiere un modelo de respuesta global para el edificio, no sirven modelos parciales de los elementos de las instalaciones. Pero para el usuario es fundamental cuantificar cuál es el ahorro que está obteniendo con cada acción, para poder estudiar su rentabilidad, y en caso de ofertar a la empresa gestora de la red una reducción de potencia, su cuantificación es crítica, ya que implica una transacción comercial. Este es uno de los aspectos fundamentales de esta línea de investigación y en la que se hacen más aportaciones. Así, en el *Capítulo 4. Eficiencia y gestión en edificios* se proponen una serie de clasificaciones con el fin de facilitar la identificación de posibles acciones de gestión y de mejora de la eficiencia y el proceso de cuantificación del impacto de dichas acciones, mostrando ejemplos reales en instalaciones de diversos tipos. Más adelante, el *Capítulo 5. Medida y verificación de ahorros energéticos* ofrece una completa revisión del marco de referencia para la medida de ahorros y realiza interesantes propuestas para facilitar la medida y verificación de acciones de respuesta de la demanda basadas en el análisis de un caso práctico. Adicionalmente, el *Capítulo 6. Predicción de consumo* propone un método de predicción de consumo que mejora la precisión de otros métodos existentes y el *Capítulo 7. Desagregado y previsión de usos finales* ofrece una metodología completa para el análisis del consumo de una instalación, la desagregación de los usos finales y la predicción del consumo con gran precisión. Estas herramientas son de gran importancia para la medida y verificación de ahorros.

En relación con los posibles ahorros y con el aprovechamiento de energías renovables, no hay que olvidar que la energía eléctrica es sólo una parte del total de energía que se utiliza en los edificios. El diseño de los edificios y su aprovechamiento de los recursos naturales influirá, de manera notable, en el consumo de energía eléctrica de éstos. No podrá hablarse de redes inteligentes si no van acompañadas de edificios inteligentes, no sólo en el sentido de que dispongan de sistemas de control, sino en el sentido de que su diseño permita utilizar en forma óptima los recursos naturales, reduciendo así la demanda de energía futura. El estudio de las principales claves para lograr edificios energéticamente eficientes está, por tanto, íntimamente ligado al desarrollo de las redes inteligentes y al ahorro energético. Aunque de manera un poco marginal, este aspecto es también tenido en cuenta en la tesis. La colaboración con el grupo de investigación del CSEF (Centre for Sustainable Energy in Food Chains) durante la estancia en la Brunel University London ha permitido seguir de cerca los avances actuales en temas de diseño inteligente de edificios y aprovechamiento de los recursos energéticos naturales. En el *Capítulo 4. Eficiencia y gestión en edificios* se muestra un resumen de estos aspectos.