

Incorporación de electrodomésticos al concepto de red eléctrica inteligente



Gilberto Vidrio López¹, Roberto Castán Luna¹, Fernando Ramírez Garduño¹, David Pascacio Maldonado¹, Francisco Antón Gabelich² y Alfredo Díaz Fernández²

Resumen

Las redes eléctricas inteligentes (*smart grids*) se consideran como un modelo óptimo para el suministro de energía, desde las plantas de generación hasta los consumidores, mejorando la eficiencia, la confiabilidad, la disponibilidad y la seguridad del suministro y uso de la energía eléctrica; todo esto mediante la aplicación de tecnologías avanzadas de información, de comunicaciones robustas en ambos sentidos, de control, de protección, de medición, sensores avanzados y de computación distribuida, contando con estructuras de datos para lograr cumplir con las interacciones que se manejan en toda la red. Todo lo anterior trae consigo nuevas vulnerabilidades al sistema eléctrico, por lo tanto, otro de los temas de actualidad es cómo mejorar la seguridad informática (*cyber security*) de la red eléctrica.

Comúnmente, el enfoque de las redes eléctricas inteligentes hacia los consumidores finales toma la forma de medición inteligente (*smart metering*) como un medio de enlace para la interacción empresa eléctrica-consumidor. Los electrodomésticos inteligentes y los *displays* remotos (IHD, por sus siglas en inglés), interconectados con medidores inteligentes (*smart meters*) por medio de redes de comunicación de área residencial (HAN, por sus siglas en inglés), permiten a los consumidores tomar parte activa en los programas de las empresas eléctricas, relacionados con el uso eficiente de la energía y con el impacto ambiental.

La nueva generación de electrodomésticos está siendo diseñada para reducir drásticamente su consumo de energía, de forma que sean más amigables con el medio ambiente.

¹ Instituto de Investigaciones Eléctricas (IIE)

² MABE

En este artículo se presenta un sistema para la incorporación de electrodomésticos al concepto de red eléctrica inteligente, desarrollado por el IIE y la empresa mexicana MABE, para optimizar la eficiencia energética en los consumidores mediante la administración de la operación de los electrodomésticos. El sistema proporciona información en tiempo real acerca del consumo y uso de la energía, así como los medios para controlarlos y administrarlos de manera eficiente, mediante la activación de controles en los electrodomésticos (refrigeradores, lavadoras, etc.) de manera automática o manual, a solicitud del usuario. Adicionalmente, con el sistema se obtienen beneficios comunes tales como: eficiencia, confiabilidad y seguridad de la red y del servicio eléctrico, así como la protección del medio ambiente al coadyuvar con los planes de las empresas de electricidad, en la implantación del concepto de red eléctrica inteligente.

Introducción

Las empresas de electricidad de todo el mundo están enfrentando grandes retos, derivados de una infraestructura que está envejeciendo y del creciente consumo de energía que impacta en la degradación del medio ambiente por el cambio climático y el agotamiento de recursos naturales; quemar más carbón y gas para atender la creciente demanda de energía contribuye a un aumento en las emisiones de dióxido de carbono, justo cuando la presión y esfuerzos actuales son hacia su reducción.

La administración eficiente de la energía (considerada “el quinto combustible”) juega un papel importante en la reducción del consumo, ayudando por consiguiente a cerrar la brecha entre el suministro y la demanda, así como en la reducción de las emisiones de dióxido de carbono.

Las redes eléctricas inteligentes abordan esta problemática, señalando la necesidad de métodos más inteligentes para la generación, transmisión y distribución de la electricidad, ya no pensando solamente en aumentar la capacidad de generación para enfrentar la demanda, sino para un uso más eficiente de la energía.

Prácticamente en todas las empresas de electricidad a nivel mundial, cerca del 90% de las interrupciones y disturbios del servicio eléctrico se originan en la red de distribución, de manera que actualmente, una de las grandes prioridades es la inversión en tecnologías inteligentes de distribución.

Con este enfoque se ha demostrado la optimización de la eficiencia energética y la operación del sistema eléctrico, a través de una estrecha relación empresa-consumidor, facilitada por medios de comunicación y redes de información versátiles, así como mediante dispositivos de protección, control, medición y monitoreo del sistema eléctrico, conectados en red con herramientas de diagnóstico inteligente y sistemas empresariales que auxilian en situaciones tales como: identificación de problemas de mantenimiento antes de que conduzcan a fallas en los equipos de la red eléctrica, balance del suministro y la demanda ante condiciones normales y de contingencia, etc.

En este proceso de incorporación proactiva de los consumidores, a los procesos de la energía como estrategia para optimizar la eficiencia energética, los sistemas de infraestructura de medición avanzada (AMI, por sus siglas en inglés) constituyen la piedra angular, ya que permiten a los consumidores la administración eficiente del consumo eléctrico en sus hogares y negocios, con el consiguiente ahorro de electricidad y de dinero.

El medidor inteligente es el elemento de los sistemas AMI que engrana al consumidor con la empresa de electricidad, bajo una comunicación en ambos sentidos. Pero hasta este punto, la tecnología se limita a mediciones mejoradas sobre la energía consumida, y los retos para optimizarla sólo se pueden lograr llevando el concepto AMI al interior de las instalaciones de los consumidores, para traducir las capacidades de los medidores inteligentes en información que los consumidores puedan usar para administrar y reducir su consumo eléctrico.

Para el caso de consumidores residenciales, lo anterior se está dando mediante la incorporación de electrodomésticos inteligentes a la red eléctrica inteligente, a través de redes de comunicación HAN que interconectan estos electrodomésticos con el medidor inteligente.

¿Qué es un electrodoméstico inteligente?

Un electrodoméstico inteligente es aquél que cuenta con elementos relacionados con el uso y consumo de energía, los cuales son capaces de monitorear, proteger y ajustar de manera automática su operación de cara a las necesidades del propietario, y a la obtención de beneficios tanto para la empresa de electricidad como para el consumidor, tales como: servicio eléctrico óptimo, prolongación de la vida útil del electrodoméstico, disminución de interrupciones del suministro eléctrico y protección del medio ambiente.

Algunas de las características más importantes de los electrodomésticos inteligentes son:

- Respuesta a señales de la empresa de electricidad, de manera que el usuario pueda contribuir, de forma manual o automática, al control de la demanda pico, así como a situaciones de emergencia del sistema eléctrico, ayudando, por ejemplo, a prevenir variaciones de voltaje y apagones.
- Darle información al usuario para decidir y hacer un mejor uso de la energía eléctrica.

Hoy en día la tecnología está disponible para incorporar en los electrodomésticos, dispositivos electrónicos que los habiliten para enviar información en tiempo real a la empresa de electricidad, acerca de su consumo de energía, así como para permitir el apagado cuando la energía sea más cara o durante los periodos de demanda pico.

Con esta tecnología, los perfiles de consumo de los clientes podrán conocerse a detalle, habilitando a la empresa de electricidad y a los consumidores mismos, a trabajar en conjunto para la consecución de objetivos de beneficio común. Esto conlleva a un control eficaz y eficiente del lado de la demanda.

Estado de la práctica

Diversos estudios realizados a nivel mundial demuestran que algunos de los electrodomésticos utilizados en el hogar, como refrigeradores, lavadoras, lavavajillas, hornos de microondas, etc., son los que aportan mayor porcentaje en el consumo total de energía (figura 1).

La nueva generación de electrodomésticos está siendo diseñada para reducir drásticamente su consumo de energía, de forma que sean más amigables con el medio ambiente (figura 2). En algunos países como México, los gobiernos otorgan incentivos para fomentar la adquisición de estos aparatos.

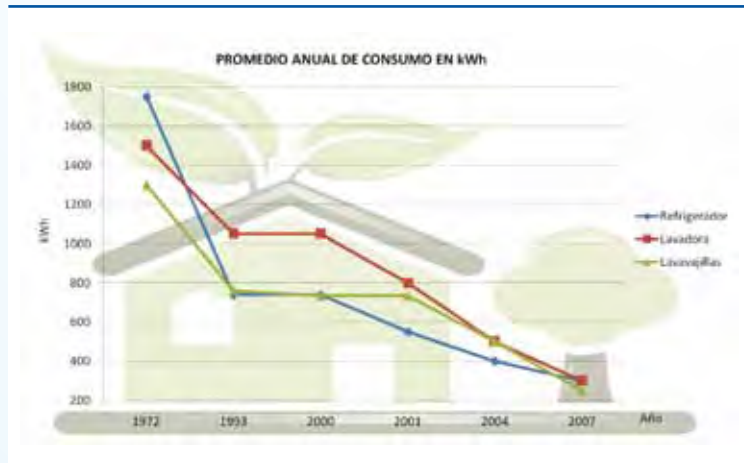
Entre los primeros automatismos en aparecer en el mercado para controlar el consumo de energía de los electrodomésticos está el uso de internet de banda ancha para controlar el apagado/encendido, a través de dispositivos electrónicos embebidos en los electrodomésticos, con capacidad de conexión a internet. En este sentido, las redes eléctricas inteligentes proporcionan herramientas más eficaces para que los consumidores efectúen una administración eficiente de su consumo eléctrico mediante, por ejemplo, el envío de información en tiempo real acerca de su consumo de energía para controlar el apagado de sus electrodomésticos, en los periodos en que el costo de la energía sea más alto o en demandas pico.

Figura 1. Consumos aproximados promedio de aparatos eléctricos por hogar.



La supervisión funcional continua de los electrodomésticos es una acción adicional para la optimización del consumo eléctrico en el hogar, ya que a partir del análisis estadístico de eventos funcionales del electrodoméstico (ciclos de apertura/cierre de puertas, ciclo de trabajo del compresor del refrigerador, etc.) es posible detectar anomalías o condiciones de operación, que pudieran provocar incrementos anormales en el consumo eléctrico. Apoyando esta supervisión con la verificación continua del consumo eléctrico total de los hogares es posible hacer aún más eficiente el uso de la energía.

Figura 2. Tendencia del consumo de energía de electrodomésticos.



Un elemento primordial de los HEMS es el IHD. Con el IHD, los consumidores pueden tener un control completo sobre su consumo global y, en particular, de sus electrodomésticos inteligentes; pueden interactuar con la empresa de electricidad mediante mensajes en ambos sentidos; tienen, en todo momento, información en tiempo real acerca del estado funcional del sistema eléctrico, de la demanda, de los precios de la energía, etc., contribuyendo, adicionalmente, a una respuesta más rápida del sistema ante fallas en el suministro, la demanda pico, etc.

Tendencias

Una de las tendencias en los electrodomésticos inteligentes consiste en la incorporación en éstos de dispositivos electrónicos que sensan, de manera continua, algunos parámetros de la red eléctrica (por ejemplo, la frecuencia de la línea), lo que les permite detectar posibles problemas en la red y actuar en consecuencia, apagando el electrodoméstico o algunas de sus funciones, hasta que el sistema eléctrico se estabilice. Esto hace que se extienda la vida útil del electrodoméstico y se coadyuve con la empresa de electricidad en la operación óptima de la red.

Otra tendencia apunta hacia el registro del consumo de energía individual de cada electrodoméstico, en un ambiente HEMS. Se distinguen dos tendencias principales para el registro del consumo: a) Mediante algoritmos de análisis de señales de potencia; b) Mediante cálculo de energía, partiendo de mediciones de voltajes y corrientes. Ambos métodos enfrentan ventajas y desventajas. La ventaja para el primero es el menor precio; la desventaja es la relativamente una pobre exactitud del registro. La ventaja para el segundo método es la exactitud; la desventaja es el precio. Los avances en la electrónica favorecerán en el futuro a este último método.

El estado de la práctica y la tendencia tecnológica en la administración de la energía y la eficiencia energética, lo está marcando el concepto de “respuesta a la demanda” (DR, por sus siglas en inglés), en el sentido de que pone al alcance de los consumidores las herramientas y los medios necesarios para acceder a la información y para contar con el control total de su consumo eléctrico. En este contexto se encuentran los electrodomésticos inteligentes y el elemento central de este concepto es el llamado “Sistema de Administración de la Energía en el Hogar” (HEMS, por sus siglas en inglés), el cual, interconectado con los electrodomésticos a través de la red de comunicación HAN, permite una estrategia total de control del consumo y uso de la energía en el hogar.

Otra tendencia de los dispositivos inteligentes en el hogar es hacia el registro de información cada vez más sensitiva, y que tiene que ver más con la explotación de la infraestructura de la red eléctrica inteligente, para la oferta de servicios de valor agregado. Dentro de esta tendencia, por ejemplo: un refrigerador inteligente será capaz de utilizar información de etiquetas de identificación por radiofrecuencia (RFID, por sus siglas en inglés) para detectar la fecha de caducidad en alimentos y medicinas, pudiendo recopilar información estadística útil para empresas detrás de dichos productos. El desarrollo de este tipo de tecnologías empieza a involucrar discusiones y leyes acerca de los derechos a la privacidad de los consumidores.

¿Qué se está haciendo en el IIE?

El Sistema Integral de Medición (SIM-IV), desarrollado en el IIE es un sistema AMI, competitivo en el ámbito mundial, y uno de los componentes clave en las redes eléctricas inteligentes.

Su objetivo es ofrecer a las empresas de electricidad, un sistema que integra los equipos y funciones de medición de la energía eléctrica, necesarios para la generación de información para diversas áreas, tales como: facturación, atención al cliente, pérdidas de energía, mantenimiento y control de fallas de las redes eléctricas, y que puede ser personalizado, dada su arquitectura modular y escalable, minimizando riesgos de obsolescencia.

En un proyecto conjunto del IIE con la empresa mexicana MABE, se desarrolló una aplicación del SIM-IV referente a la incorporación de electrodomésticos a la red eléctrica inteligente. En este proyecto, el IIE desarrolló el *hardware* y el *software* necesarios para incorporar al SIM-IV, la capacidad de administrar y controlar electrodomésticos. MABE desarrolló el dispositivo electrónico para el control interno de las funciones propias de los electrodomésticos que fabrica, el cual se instala en su interior.

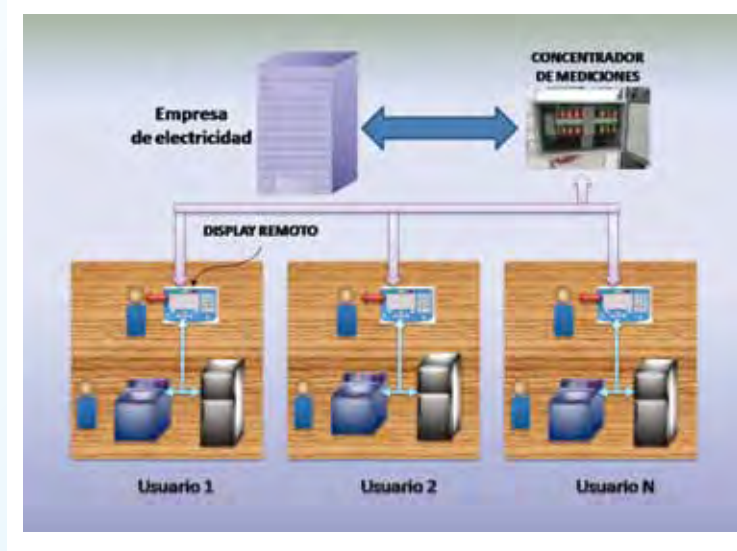
Arquitectura del SIM-IV para el control de electrodomésticos

La versión del SIM IV enfocada a la incorporación de electrodomésticos al concepto de red eléctrica inteligente está conformada por tres equipos electrónicos: concentrador de mediciones, medidor electrónico inteligente y *display* remoto. También incluye un paquete de *software* de administración de datos de medición (MDM, por sus siglas en inglés) (figuras 3a y 3b).

Figura 3a. Arquitectura SIM-IV para incorporar electrodomésticos al concepto de red eléctrica inteligente.



Figura 3b. Electrodomésticos en red eléctrica inteligente mediante el SIM-IV.



Funcionamiento del SIM-IV en el control de electrodomésticos

El display remoto se instala en el interior del domicilio de cada usuario, con el objeto de brindarle de forma clara, la información referente a su consumo de energía eléctrica, así como darle la capacidad de gestionar la operación de sus electrodomésticos de manera manual o automática (desde la empresa de electricidad o desde el mismo display remoto). La información de consumo de energía eléctrica desplegada al usuario, proviene del medidor electrónico inteligente que se instala en el interior del gabinete del concentrador de mediciones, el cual, a su vez, se encuentra instalado en el poste de distribución de la empresa de electricidad, justo en las acometidas de los usuarios. El concentrador de mediciones envía la información necesaria (consumos, precios de energía, mensajes hacia el consumidor, etc.) al display remoto, con el objeto de alimentar al usuario sobre el consumo de energía eléctrica derivado de sus hábitos de uso. También envía información (perfiles de consumos, mensajes del consumidor, etc.) a las oficinas de la empresa de electricidad para propósitos de control, monitoreo y facturación. La información es procesada y desplegada en el servidor de la empresa de electricidad mediante el *software* MDM (figuras 3a y 3b).

Conclusiones

Se dice que, en buena medida, lo que hace “inteligente” a una red eléctrica es su capacidad para conocer los patrones de consumo de energía de los equipos eléctricos de los consumidores, lo que hace posible el uso eficiente de ésta mediante el control de la cantidad y el tiempo en que se consume.

Si bien actualmente, las ventajas para los consumidores relativas al uso de electrodomésticos inteligentes no son tan obvias, debido a la ausencia de tarifas eléctricas que incentiven su adopción, la reducción del consumo derivada de los cambios de hábito en el mismo, hacen atractivo el uso de este tipo de electrodomésticos y preparan el camino hacia una operación inteligente automática. Sin embargo, existen otras ventajas como la extensión de la vida útil del electrodoméstico debida a la detección temprana de fallas, gracias al monitoreo continuo de su operación.

Otro punto neurálgico es la ausencia de estándares ampliamente aceptados para la comunicación con los electrodomésticos inteligentes. En este sentido sobresalen los esfuerzos conjuntos del *Electric Power Research Institute* (EPRI) y del *Utility Smart Network Access Port* (U-SNAP) rumbo a la obtención de una interfase universal. Es muy importante la participación de los fabricantes en este tema de estándares, ya que muchos de los electrodomésticos son de uso masivo.

La tendencia hacia la incorporación de otras funciones, por ejemplo de seguridad, de mantenimiento, etc., contribuirá a justificar el costo de “hacer” inteligente al electrodoméstico.

Lo más probable es que los consumidores prefieran dispositivos tipo “enchufar y operar” (“*plug and play*”) para dotar de inteligencia a sus electrodomésticos. Esto les daría la opción de prepararse para el futuro, optando por soluciones más económicas con funcionalidad similar.

Resulta claro que los gobiernos y las empresas de electricidad se beneficiarían grandemente con el uso de los electrodomésticos inteligentes, de manera que serían importantes los incentivos que pudieran proporcionar a los fabricantes y consumidores, como ya se hace en algunos países, incluyendo a México, que fomentan la modernización de los electrodomésticos de los usuarios para reducir su consumo de energía eléctrica.

Finalmente quedan temas que siempre serán de actualidad, los cuales son:

El que se refiere a la privacidad de la información de los consumidores. Deben desarrollarse e implantarse criterios y leyes para proteger los derechos de los consumidores ante la tecnología ubicua de monitoreo de cada consumidor, como parte de la naturaleza de las redes eléctricas inteligentes.

El que se refiere a la seguridad informática, tanto para el consumidor como para la empresa de electricidad (*cyber security*).

Agradecimientos

Los autores agradecen la valiosa colaboración de Salvador González Castro, Director de la División de Sistemas de Control, por sus opiniones y sugerencias para enriquecer el contenido técnico y la estructura de este artículo.

GILBERTO VIDRIO LÓPEZ [vidrio@iie.org.mx]

Ingeniero Electricista por la Universidad de Guadalajara en 1976. Maestro en Ciencias en Ingeniería Eléctrica, con especialidad en Control, por el Instituto Politécnico Nacional (IPN) en 1978. Ingresó al IIE en 1979 como investigador en el Departamento de Electrónica y desde entonces ha participando como colaborador y Jefe de Proyectos de desarrollo de equipos y sistemas electrónicos, en el campo de la adquisición de datos y de la medición inteligente de energía eléctrica. Actualmente forma parte de la Gerencia de Control e Instrumentación. Cuenta con publicaciones y conferencias en organismos nacionales y extranjeros. Ha sido profesor de asignatura en el Centro Nacional de Investigación y Desarrollo Tecnológico (CENIDET) y en el Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey (ITESM), campus Cuernavaca. Ha sido miembro en diversas fechas de las asociaciones: AMRA, U.S.A.; ISA, U.S.A.; IEEE, U.S.A.; Instituto de Cooperación Iberoamericana. Ciencia y Tecnología para el Desarrollo, V Centenario (CYTED-D). España; Comité de Estudios D2 (Sistemas de Información y Telecomunicaciones) del CIGRÉ-Internacional, en donde coordinó el Grupo de Trabajo WGD2.18 (Medición, facturación, protección de ingresos y sistemas CMR/CIS), en el cual participaron especialistas de empresas de electricidad de varios países, incluida la Comisión Federal de Electricidad (CFE). Ha participado en la obtención de tres patentes para el IIE, relacionadas con la medición inteligente de electricidad, agua y gas.



De izquierda a derecha: Roberto Castán Luna, Fernando Ramírez Garduño y David Pascacio Maldonado.

ROBERTO CASTÁN LUNA [rcastan@iie.org.mx]

Egresado del Instituto Tecnológico de Ciudad Madero, Tamaulipas en 1989. Ingresó al IIE en febrero de 1990, al Departamento de Electrónica, actualmente Gerencia de Control e Instrumentación (GCI). En marzo de 2003 obtuvo el grado de Maestro en Ciencias en Electrónica en el Centro Nacional de Investigación y Desarrollo Tecnológico (CENIDET). Ha participado y dirigido varios proyectos de infraestructura y bajo contrato, desarrollando *software* de aplicación para módulos electrónicos e interfaces hombre-máquina para lectura y programación de módulos y equipos electrónicos. Actualmente colabora con en el grupo de medición de la GCI, donde se han diseñado equipos y sistemas para medición de energía eléctrica y balance de energía.

FERNANDO RAMÍREZ GARDUÑO [frg@iie.org.mx]

Ingeniero en Comunicaciones y Electrónica por la Universidad Fray Luca Paccioli en 2004. Ingresó al IIE en 2008, a la Gerencia de Control e Instrumentación (GCI). Actualmente está involucrado en el desarrollo de equipos y sistemas para medición de energía eléctrica y balance de energía. Ha participado en la obtención de una patente para el IIE, relacionada con la medición inteligente de electricidad, agua y gas.

DAVID PASCACIO MALDONADO [dpm@iie.org.mx]

Ingeniero en Comunicaciones y Electrónica por la Universidad Fray Luca Paccioli en 2005. Ingresó al IIE en 2008, a la Gerencia de Control e Instrumentación (GCI). Actualmente esta involucrado en el desarrollo de equipos y sistemas para medición de energía eléctrica y balance de energía. Ha participado en la obtención de una patente para el IIE relacionada con la medición inteligente de electricidad, agua y gas.