



UNIVERSITAT POLITÈCNICA
DE CATALUNYA
BARCELONATECH



Universitat Politècnica de Catalunya

Proyecto Final de los Programas Spamex Online

“Energías renovables y eficiencia energética”

“Optimización de la Eficiencia Energética en los Hogares utilizando una Arquitectura de Medición Inteligente”

M.C. Juan Carlos Olivares Rojas

Noviembre de 2017

Tabla de Contenidos

INTRODUCCIÓN	5
CUERPO DEL PROYECTO	7
EL PROBLEMA	7
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	8
FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	9
OBJETIVOS	9
REVISIÓN DE LITERATURA	10
JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	15
LIMITACIONES	16
MARCO TEÓRICO	17
ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN	17
BASES TEÓRICAS	17
MARCO METODOLÓGICO	39
DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN	39
POBLACIÓN Y MUESTRA	40
TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS	40
TÉCNICAS DE PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS	41
ASPECTOS ADMINISTRATIVOS	41
RECURSOS NECESARIOS	41
CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES	45
BIBLIOGRAFÍA	47

Tabla de Ilustraciones

Figura 1 Revoluciones Industriales	5
Figura 2 Esquema general de la Red Eléctrica Inteligente.....	6
Figura 3 Consumo energético promedio de electromésticos en el hogar	7
Figura 4 Arquitectura de Consumo Eléctrico Inteligente de la empresa GE.....	8
Figura 5 Ejemplo de medidor eléctrico inteligente de la empresa GE	9
Figura 6 Arquitectura General de un EMS inteligente	10
Figura 7 Arquitectura General Propuesta	11
Figura 8 Ejemplo de Sistema de Monitoreo Energético.....	11
Figura 9 Ejemplo de Interfaz del Sistema Propuesto	12
Figura 10 Ejemplo de consumo eléctrico de un medidor eléctrico	13
Figura 11 Arquitectura de un EMS Centralizado	14
Figura 12 Disturbios eléctricos que causan baja calidad de la enería eléctrica	15
Figura 13 Contaminación por generación de energía eléctrica a través de recursos no renovables.....	16
Figura 14 Generación eléctrica Distribuida.	18
Figura 15 Vehículo Eléctrico.....	18
Figura 16 Modelo de Referencia del nIST para Redes Eléctricas Inteligentes	20
Figura 17 Infraestructura de Medición Avanzada.....	23
Figura 18 CiberSeguridad en Redes Eléctricas Inteligentes.....	24
Figura 19 Seguridad en Redes de Comunicación para las REI	25
Figura 20 Arquitectura General de Datos en Mediciones Eléctricas Inteligentes	26
Figura 21 Pérdidas no técnicas de energía eléctrica (robo de energía).....	26
Figura 22 Logo Energy Star que indica que un dispositivo eléctrico usa eficientemente la energía	27
Figura 23 Privacidad en el Consumo Eléctrico	29
Figura 24 Demanda de Energía Eléctrica en Latinoamérica	31
Figura 25 Esquema general de un sistema de monitoreo de energía eléctrica inteligente (hardware)	33
Figura 26 Esquema general de un sistema de monitoreo de energía eléctrica inteligente (software)	33
Figura 27 Etiquetas de eficiencia energética	34
Figura 28 Modelo general de gestión de la energía eléctrica	35
Figura 29 Esquema general de respuesta a la demanda de energía eléctrica inteligente	36
Figura 30 Esquema de Agregadores para solucionar el problema de respuesta a la demanda de energía eléctrica	36
Figura 31 Arquitectura General de un medidor/concentrador eléctrico para el hogar ...	40
Figura 32 Analítica de grandes volúmenes de datos.....	41
Figura 33 Raspberry Pi.....	42
Figura 34 Concentrador/Collector de Datos de MEdidores Eléctricos Inteligentes	42
Figura 35 Modem para comunicación de datos por líneas de potencia	43
Figura 36 Tarjeta de Sensores Inalámbrico.....	43

Figura 37 Memoria RAM y ROM no volátiles	44
Figura 38 Electrodomésticos inteligentes	44
Figura 39 Desarrollo Web Responsivo.....	45
Figura 40 Diagrama de Gantt del Proyecto	46

Índice de Tablas

Tabla 1 Estandarés en Redes Eléctricas Inteligentes	37
---	----

INTRODUCCIÓN

La Red Eléctrica, así como muchas otras áreas del conocimiento humano, se ha visto influenciado en los últimos años por el manejo de las Tecnologías de la Información y Comunicaciones (TIC) que para muchos autores es considerado como la Revolución Industrial 4.0 (ver Figura 1) en donde los componentes están integrados en lo que se denomina Sistemas Cyberfísicos [1].

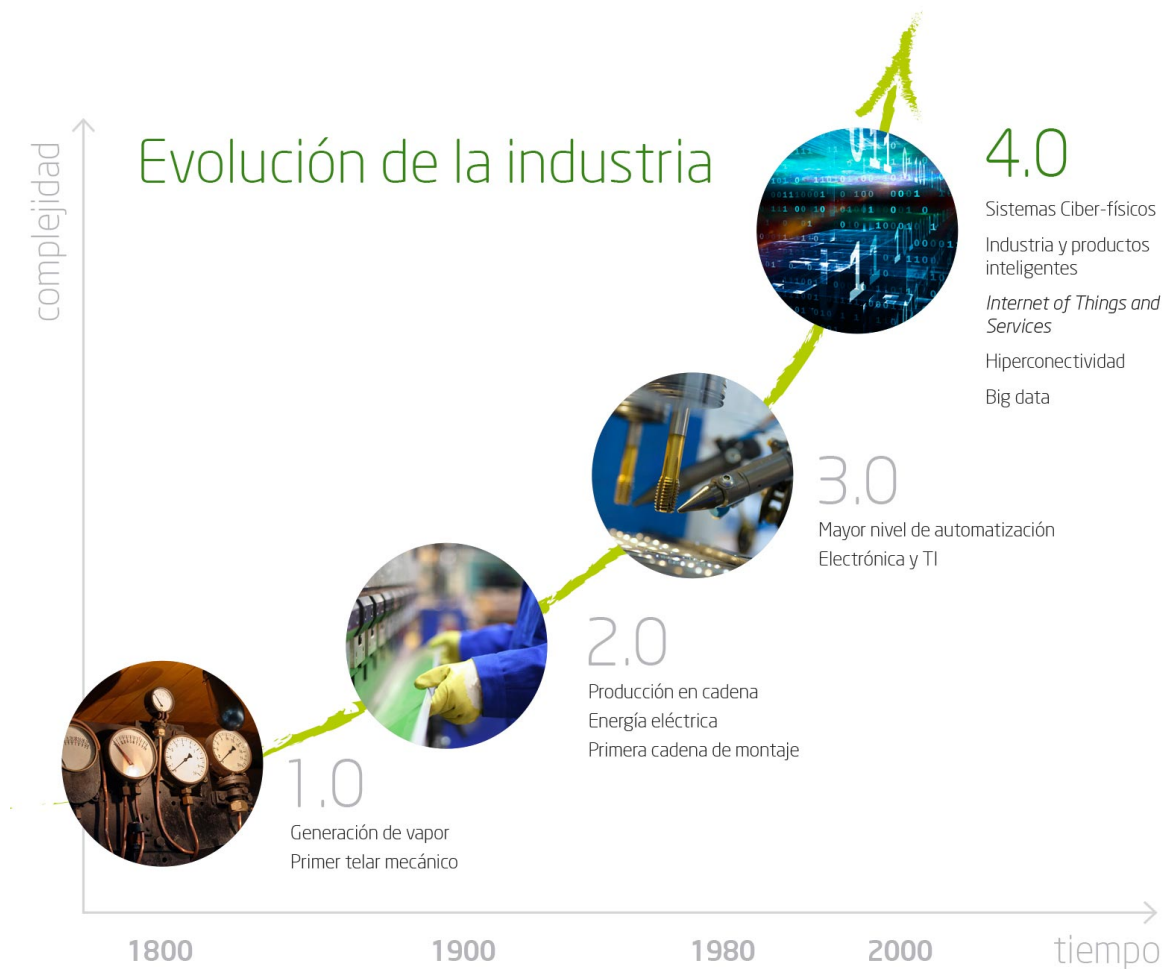


Figura 1 Revoluciones Industriales

En este sentido, en los últimos años la Red Eléctrica (conocida como Grid en inglés) ha sufrido una transformación sin precedentes denominando ahora como Red Eléctrica Inteligente "Smart Grid" (ver Figura 2). Dicha inteligencia está siendo utilizada para resolver una gran diversidad de problemas en el contexto eléctrico como: medición inteligente, tolerancia a fallas, atención dinámica a la demanda, entre muchas otras [2].

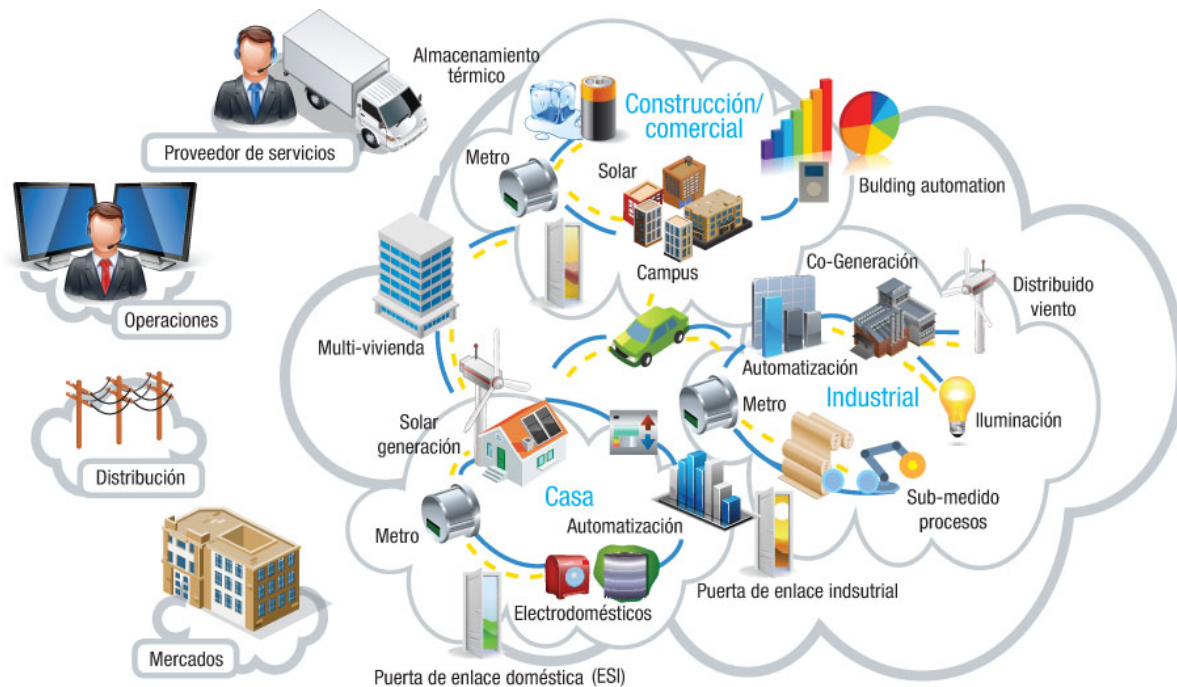


Figura 2 Esquema general de la Red Eléctrica Inteligente

En los últimos años el uso de Energía Eléctrica se ha incrementado considerablemente en todo el mundo y se pronostica que en los próximos años esta tendencia continúe [3]. Este problema se acrecienta si el uso de energía de estos dispositivos no es eficiente [4].

En este trabajo se presenta una propuesta de Arquitectura de Medición Eléctrica Inteligente para ayudar a eficientar el consumo de energía eléctrica en los hogares.

CUERPO DEL PROYECTO

El Problema

El uso de dispositivos eléctricos y electrónicos es una necesidad hoy en día, tanto que el ser humano no puede vivir hoy en día sin energía eléctrica.

Actualmente muchos de los dispositivos electrodomésticos en los hogares se diseñan con esquemas de eficiencia energética, tales como: calefactores, aires acondicionados, refrigeradores y otros dispositivos de alto consumo energético [5].

Desafortunadamente los electrodomésticos más viejos y otros electrodomésticos más recientes de bajo consumo energético no tienen implementados controles para el manejo eficiente del consumo eléctrico [6], lo que con lleva en algunos casos al que se incremente el costo y el consumo de energía eléctrica.

En la Figura 3 se puede apreciar el uso promedio de energía de los dispositivos electrodomésticos en el hogar.

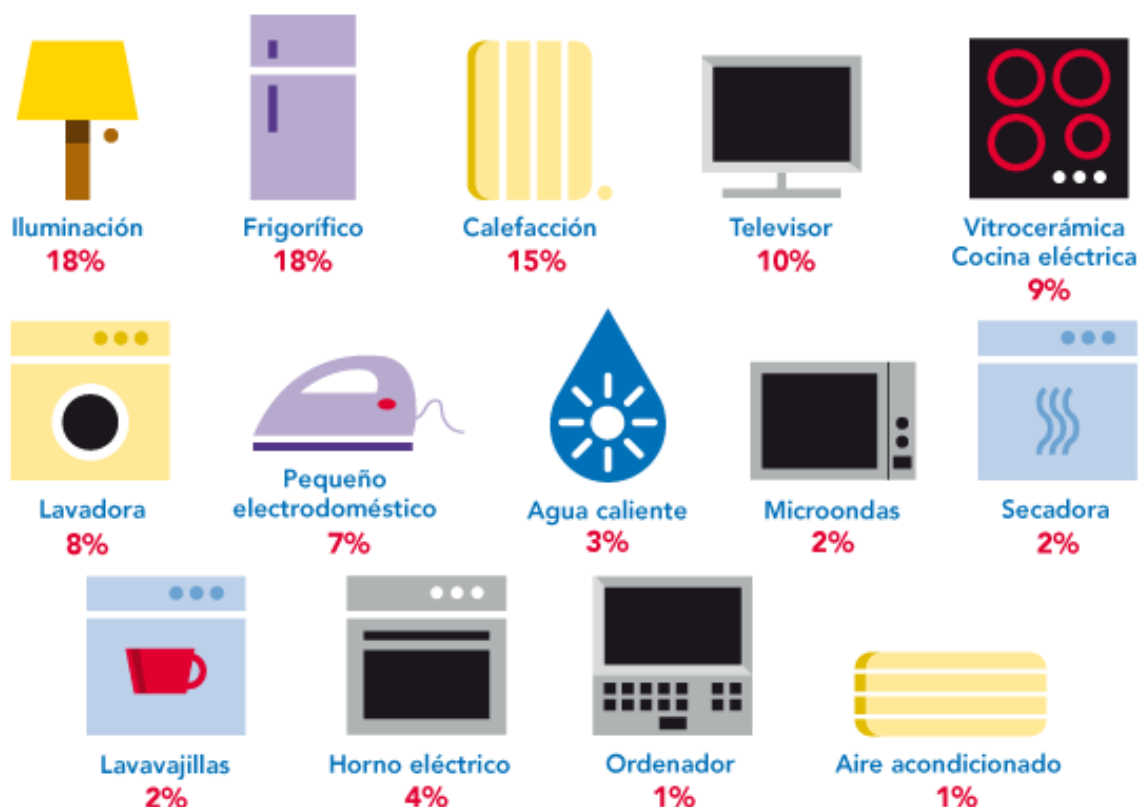


Figura 3 Consumo energético promedio de electrodomésticos en el hogar

Como puede apreciarse el consumo energético es sumamente amplio y diverso.

Planteamiento del Problema

Desde hace muchos años se han tratado de eficientar el consumo de energía eléctrica, pero en los últimos años con la inminente integración de las TICs en las redes eléctricas han ayudado a solventar esta problemática de una mejor forma.

De las diferentes aristas existentes para solventar el problema de eficiencia energética en los hogares, hoy en día una de las más prometedoras son los Sistemas de Gestión de Energía (EMS por sus siglas en inglés) [7].

Los EMS son una combinación de hardware (particularmente sensores y microcontroladores) así como software que permiten ayudar a los usuarios a mejorar su control energéticos de sus dispositivos a través de la concientización de su uso [8], pero son pocos los sistemas que de forma automática ayudan a optimizar el uso de energía eléctrica.

En la Figura 8 se muestra la solución para la gestión eficiente de energía en el hogar de la empresa GE. Como se puede apreciar, el sistema EMS (denominado Home Energy Manager en esta arquitectura) es el sistema nervioso central que controla todas las tecnologías para reducir el consumo eléctrico.

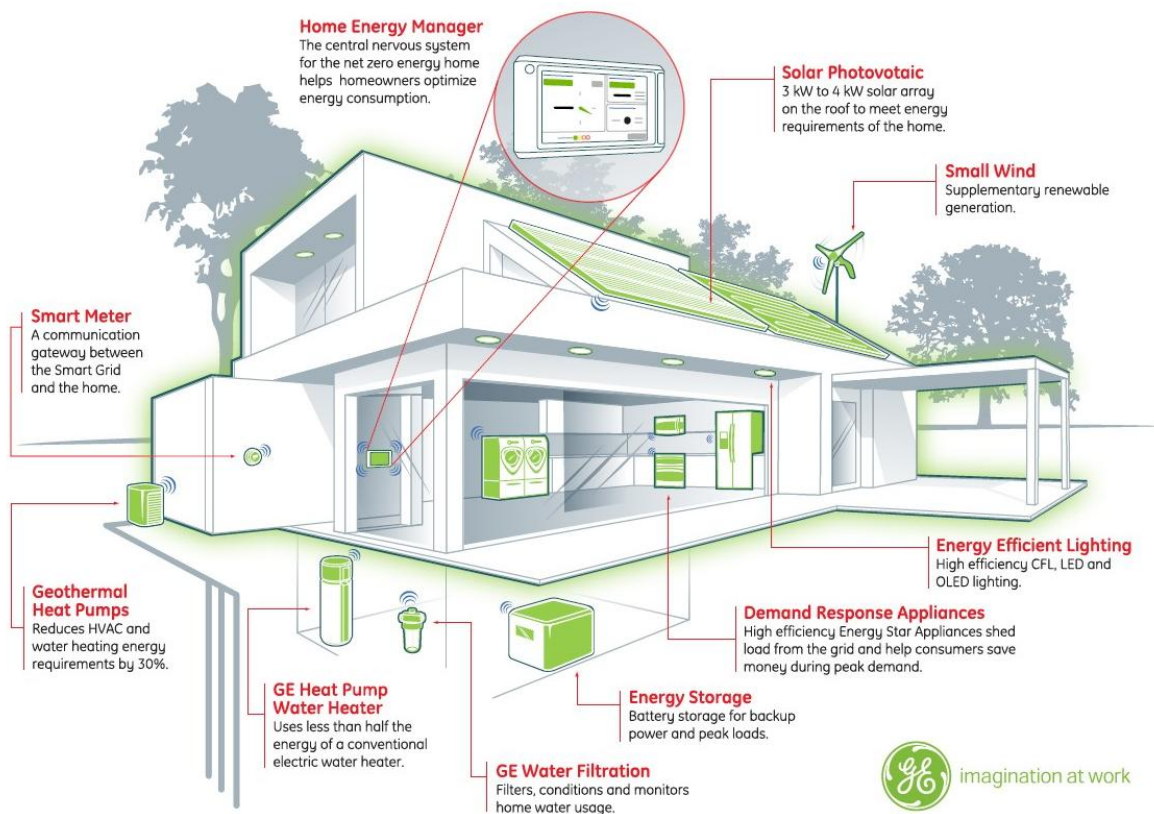


Figura 4 Arquitectura de Consumo Eléctrico Inteligente de la empresa GE

Formulación del Problema

El uso de medidores eléctricos inteligentes (Smart Meters) puede ayudar entre otras cosas a alertar a los usuarios sobre su consumo energético y apoyar a la toma de decisiones inteligentes que permitan el ahorro de energía [9]. En la figura 5, se muestra un ejemplo de un medidor eléctrico inteligente.

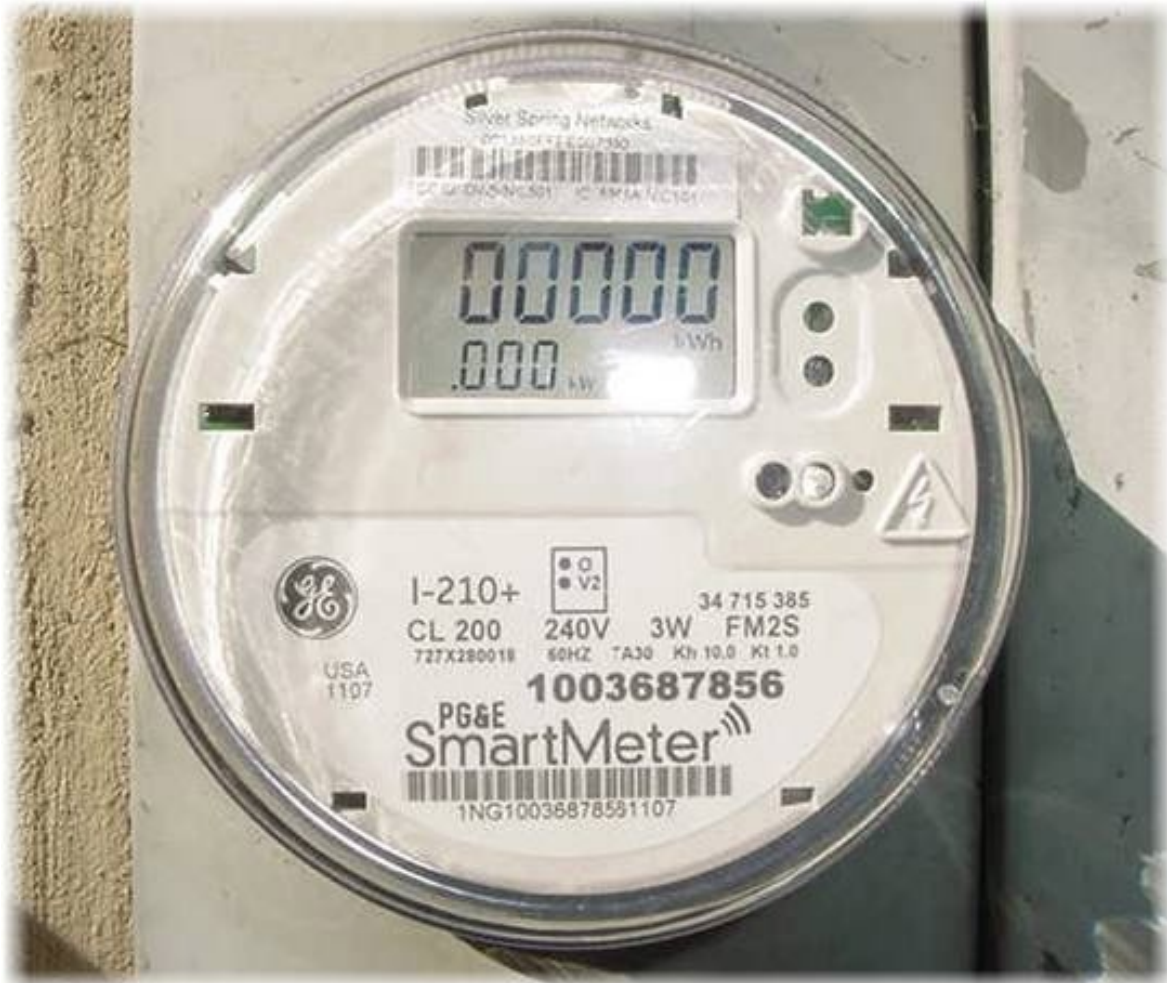


Figura 5 Ejemplo de medidor eléctrico inteligente de la empresa GE

Algunos trabajos relacionados como [9] se están apoyando en la consulta de grandes bases de datos que a través de procesos de analítica (big data) para obtener patrones de consumo energético de usuarios. Desafortunadamente este análisis de la información no se realiza en línea directamente en los dispositivos por lo que no es tan representativo del consumo energético en tiempo real y no se pueden tomar decisiones inteligentes sin la necesidad del usuario.

Objetivos

Estudiar los distintos sistemas existentes de gestión de energía que puedan utilizarse en arquitecturas de medición eléctrica.

Definir una arquitectura de un sistema de control energético que utilice la infraestructura de medición avanzada (AMI) para el apoyo en la toma de decisiones y alertas de consumo energético.

Revisión de Literatura

Existen diversos trabajos relacionados a la optimización de consumo energético utilizando sistemas de mediciones inteligentes.

En [10] se presenta una arquitectura en donde se cuenta con una pasarela (Gateway) que ayuda a concentrar la información de las lecturas del medidor inteligente y concentrarlas en una base de datos (ver figura 6).

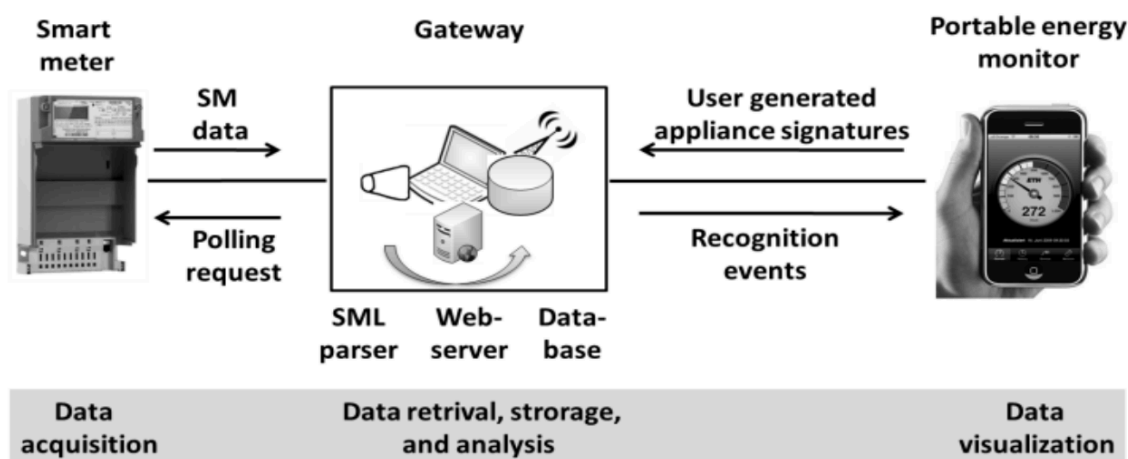


Figura 6 Arquitectura General de un EMS inteligente

La arquitectura que se propone utiliza los concentradores de datos y los medidores inteligentes de las diversas infraestructuras AMI con la propuesta de tener embebida en el dispositivo una base de datos (ver Figura 7). Se ha empezado a trabajar en el análisis de bases de datos empotradas en dispositivos de medición inteligente [11].

En [14] se muestra una Arquitectura de un Sistema de Gestión de Energía que utiliza redes de sensores particularmente del protocolo IEEE 802.15.4 como método de comunicación entre los diversos electrodomésticos en el hogar.



Figura 7 Arquitectura General Propuesta

La arquitectura que se propone en este trabajo, toma en consideración la comunicación de información a través de las líneas de energía convencionales en los hogares. Dicha tecnología recibe el nombre de PLC (Power Line Communications) y cada vez está más extendida. Particularmente se ha comenzado a trabajar y evaluar distintos protocolos de comunicación PLC tanto para hogares como para exteriores [12] y [13].

Muchos Sistemas de Gestión de Energía utilizan interfaces en sistemas Web y dispositivos móviles en el apoyo del control energético como en [15]. En la Figura 8 se puede visualizar un ejemplo de Sistema de Monitoreo de Energía.



Figura 8 Ejemplo de Sistema de Monitoreo Energético

La arquitectura propuesta está acompañada de un sistema Web adaptativo dependiendo del dispositivo en el cual los controles e información pueda desplegarse de forma optimizada dependiendo de si se trata de un dispositivo de baja capacidad de cómputo (por ejemplo dispositivos para Internet de las Cosas como Relojes Inteligentes, Gafas, etc.), dispositivos móviles de baja, mediana y altas resoluciones de pantalla (tales como: celulares, tabletas), arquitecturas de cómputo tradicionales (computadoras de escritorio y portátiles) así dispositivos de gran capacidad de despliegue (como: pantallas de televisión, proyectores). Todo esto con el objeto de que la notificación de alarmas y la toma manual de decisiones energéticas por parte del usuario se realice de la forma más rápida en cualquier medio (ver Figura 9).



Figura 9 Ejemplo de Interfaz del Sistema Propuesto

Una de las partes más complicadas de detectar hoy en día para el uso eficiente de energía eléctrica es el consumo individual de un electrodoméstico en particular. En [16] se muestra un trabajo que pretende detectar el comportamiento de las señales eléctricas de cada dispositivo.

En la figura 10 se muestra de forma general una curva de consumo eléctrico en un hogar.

En particular, la arquitectura propuesta utilizará los distintos perfiles de consumo de carga existentes de diversos electrodomésticos proponiendo además una arquitectura abierta donde los fabricantes de los dispositivos puedan subir las cargas generales de sus dispositivos.



Figura 10 Ejemplo de consumo eléctrico de un medidor eléctrico

La arquitectura que se propone permite detectar el perfil de carga de un electrodoméstico a través del entrenamiento computacional de dicho dispositivo utilizando carga de energía en diversas condiciones de forma aislada. Estos perfiles de carga podrán ser mejorados a través del uso de análisis de los datos de los diversos colectores. Si en una cuadra o vecindario existen más de un dispositivo con las mismas características se podrán compara sus cargas teniendo cada vez un mejor modelo.

Otra de las características importantes que debe tener un Sistema de Control de Energía es el uso de un buen mecanismo de calendarización/programación de uso de electrodomésticos. En [17] se muestra una arquitectura de un EMS centralizado con sus diversos componentes: adquisición de datos, gestión de datos, optimización, calendarización, monitoreo y pronósticos (ver Figura 11).

En ese sentido la mayoría de los EMS que utilizan calendarización se basan generalmente en los costos de la energía eléctrica por base en su horario. Por ejemplo, poner la carga de ropa en la lavadora a media noche es más barato que ponerla en el horario de la comida. En México el costo tarifario es plano, por lo que la arquitectura propuesta trata de calendarización las actividades dependiendo del uso horario en que generalmente se hacen tratando de balancear la carga en los horarios en los cuales típicamente están con menor carga.

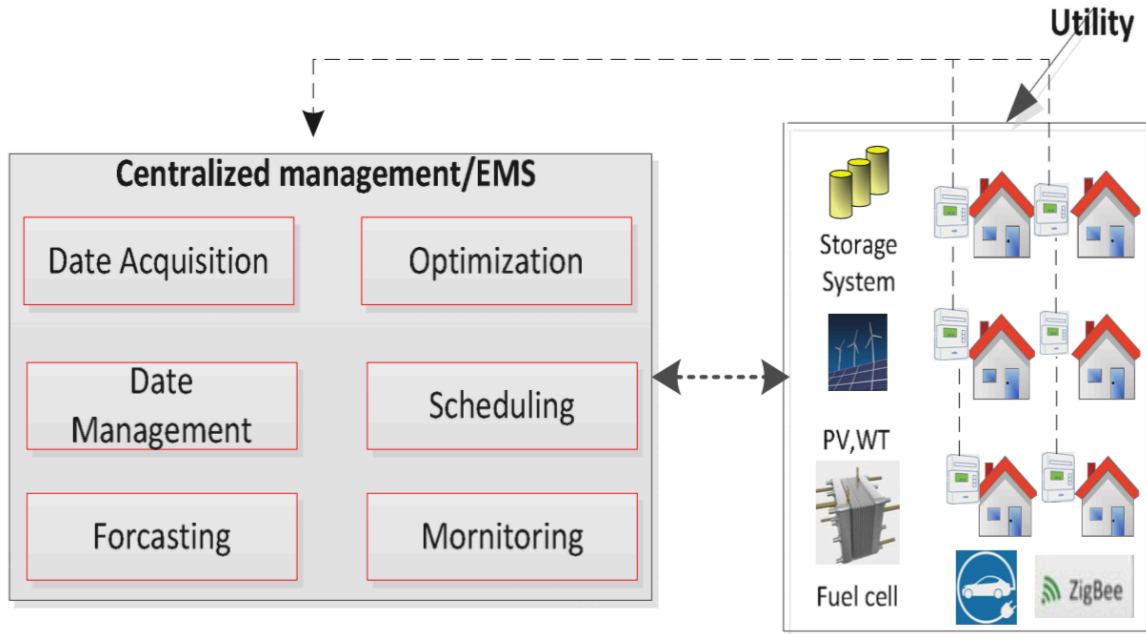


Figura 11 Arquitectura de un EMS Centralizado

Finalmente, pero no menos importante, una de las características deseables que debe tener un EMS y en las cuales puede apoyar los sistemas de medición inteligente es el monitoreo de la calidad de la energía. Algunos trabajos como [18] muestran arquitecturas donde a través del procesamiento de señales y de una infraestructura de cómputo robusta se puede determinar si la señal eléctrica cumple con ciertas especificaciones de calidad. Esto es sumamente importante ya que bajo el nuevo paradigma de Generación Distribuida en donde los sistemas de generación utilizan altos componentes de energía renovables (como sistemas fotovoltaicos, eólicos, hidráulicos) no cumplen con brindar todo el tiempo con una señal eléctrica de calidad. Además, con su abaratamiento, en los próximos años cada vez serán más usados en los hogares para su autoconsumo.

La arquitectura que se propone también ayudará a medir la calidad de la energía y a través de las firmas de consumo ya establecidas, así como el establecimiento de prioridades de servicio ayudar a canalizarlo en las áreas que se requiera. Por ejemplo, si un sistema de iluminación es menos sensible a la calidad de la señal eléctrica que un electrodoméstico de alta potencia como un refrigerador. Se tratará de priorizar a aquel cuya energía sea más importante.

En la Figura 12, se pueden observar algunos ejemplos de anomalías en la señal eléctrica que producen una baja calidad en la energía eléctrica.

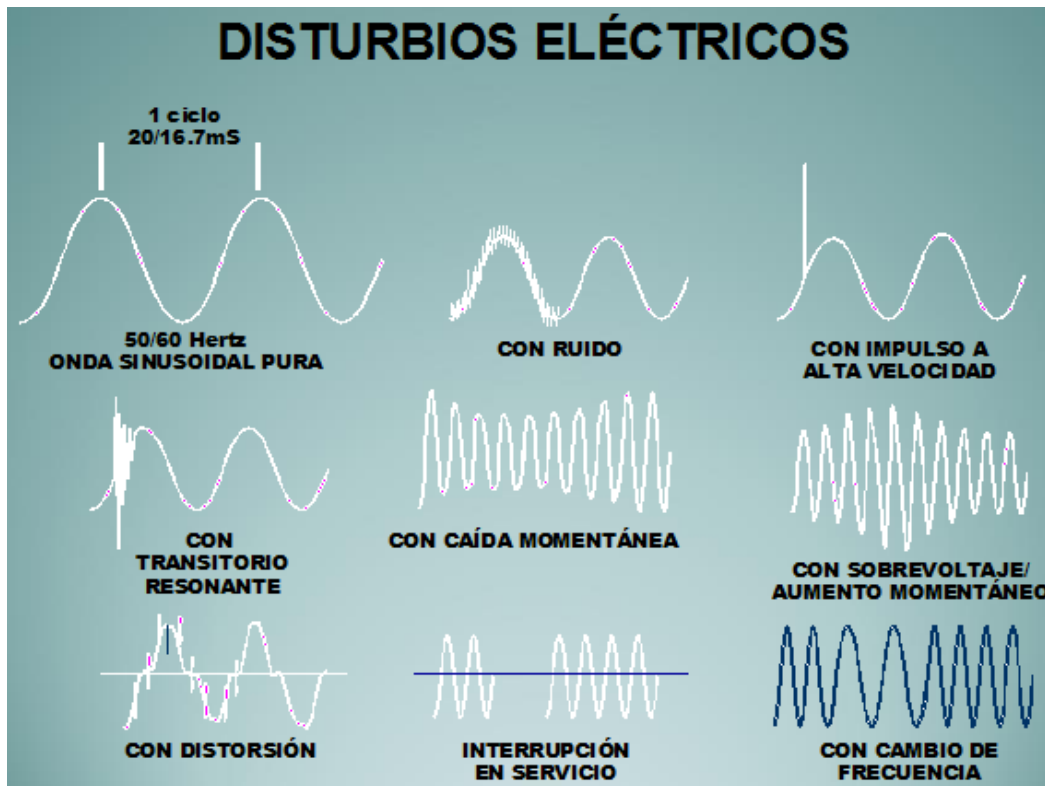


Figura 12 Disturbios eléctricos que causan baja calidad de la energía eléctrica

Justificación de la Investigación

El consumo de energía eléctrica es una necesidad hoy en día. Dependiendo del clima y su ubicación geográfica los costos de la energía eléctrica son muy variables, pero en términos generales, representan un gasto significativo en los hogares de todo el mundo.

El consumo de energía ha aumentado 45% desde 1980. Está proyectado que sea un 70% más alto para el 2030. Los mercados emergentes (incluyendo China e India) representan más de 75% de la nueva demanda, ejerciendo nuevas presiones en los recursos globales. En tanto, los mercados maduros como Norteamérica, Europa y Japón también enfrentarán una demanda creciente y recursos limitados.

De acuerdo al Departamento de Energía de los Estados Unidos [19] se estima que en promedio cambiar los tradicionales focos eléctricos por focos ahorradores puede ahorrar 75 dólares al año. El incrementar el termostato de 7 a 10 grados Fahrenheit puede ahorrar aproximadamente el 10% del consumo energético anual de una casa. En [20] se muestra como al utilizar un adaptador de energía avanzada que suprime el uso de los “vampiros” (electrodomésticos que están prendidos en un modo de baja energía pero que al final consumen energía) pueden ahorrar 100 dólares al año.

Por otra parte, el uso eficiente de la energía eléctrica con lleva a una menor generación de eléctrica lo que coadyuva al medio ambiente ya que en muchos países, el mecanismo de generación más usado es el carbón, el cual es sumamente contaminante. Por ejemplo, se estima que el 90% de la generación de energía eléctrica en los Estados Unidos es a través del carbón [21].

Todos estos estadísticos detallan la importancia que tiene el uso eficiente de la energía eléctrica y su impacto económico, social y ecológico (ver Figura 13).



Figura 13 Contaminación por generación de energía eléctrica a través de recursos no renovables

Limitaciones

Al contener las bases de datos embebidas en los medidores inteligentes y colectores (concentradores y/o gateways) es necesario tener un uso eficiente del espacio de almacenamiento. Para ello periódicamente se deberá depurar la información contenida en los dispositivos. La arquitectura propuesta hace uso de la nube para guardar esta información histórica.

El procesamiento de datos se hará solo en la parte del medidor y colector inteligentes inmediatamente conectados. La arquitectura propuesta se puede escalar para que desde nivel central se pueda realizar analítica de datos de otros colectores, pudiendo llegar al esquema de ciudades y países. Dicho escalamiento no está considerado en el presente trabajo.

Marco Teórico

Antecedentes de la Investigación

Desde la definición del término de “Smart Grid” a mediados de la década pasada (alrededor de 2007) se ha vuelto a tocar el tema de eficiencia energética a través del uso de sistemas de medición inteligente.

Particularmente en el Instituto Tecnológico de Morelia perteneciente al Tecnológico Nacional de México, en los posgrados en Ciencias en Ingeniería Eléctrica y Ciencias en Ingeniería Electrónica se han realizado trabajos dentro del área de Electrónica de Potencia, Procesamiento de Señales y Mercados Eléctricos entre otros.

Particularmente la arquitectura propuesta es resultado del Proyecto de Investigación denominado como: “Investigación de Métodos de Comunicación para el Diseño de Medidores Inteligentes (Smart Meters)” donde se participa como colaborador y cuyo líder del proyecto es el Dr. Enrique Reyes Archundia.

Bases Teóricas

Con el avance de la tecnología, los sistemas de potencia se han automatizado con el fin de hacerlos más eficientes.

El modelo clásico, centralizado de las centrales eléctricas, no se ajusta a las energías renovables, ya que estas no proporcionan un flujo constante de energía (dependen del sol, del viento...).

La idea es que se creen unas centrales eléctricas inteligentes distribuidas capaces de suministrar energía de forma dinámica dentro de lo que denomina red inteligente o Smart Grid.

La principal característica de una Smart Grid es que permite la distribución de electricidad desde los proveedores hasta los consumidores, utilizando tecnología digital con el objetivo de ahorrar energía, reducir costes e incrementar la fiabilidad. Para conseguir este objetivo es necesario un reparto óptimo de la energía que implicaría bien su almacenamiento cuando existe un excedente (algo realmente complejo y costoso) o una reestructuración del sistema actual para adaptarse a la demanda de forma flexible aprovechando las tecnologías existentes. La solución pasa por implicar al usuario consumidor, que tiene un papel muy importante, ya que se convierte en un elemento más dentro de la red inteligente.

Con el uso de energías renovables, se pretende reducir la generación energética basada en el uso de recursos fósiles, que son los utilizados a la hora de cubrir los puntos de mayor demanda. Además, dentro de este modelo, los usuarios también pueden ser proveedores de energía (read/write grid). Por lo que ahora los

consumidores de electricidad también son productores creando así los prosumidores.

Las energías renovables constituyen una buena forma de producir energía y el excedente podría ser distribuido apropiadamente a través de la smart grid, con el consiguiente beneficio económico para el usuario. A la generación de varios productores locales a través de energías renovables se les conoce como Generación Eléctrica Distribuida (ver Figura 14).

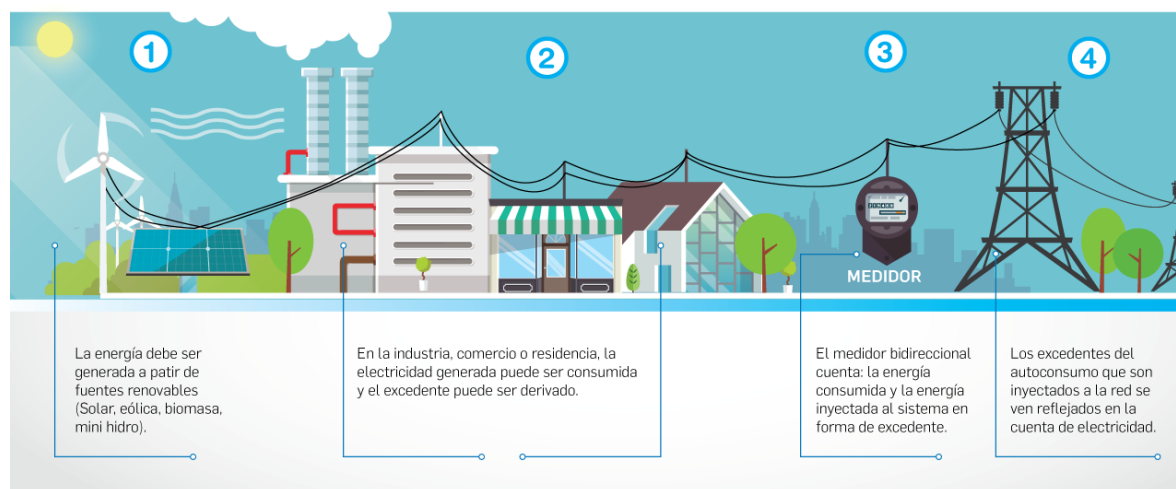


Figura 14 Generación eléctrica Distribuida.

Relacionado con esto, existe también el denominado vehicle-to-grid que trata de aprovechar la capacidad de almacenamiento de los vehículos eléctricos (ver Figura 15) para, en los momentos que sea interesante para el propietario del vehículo o para el sistema, inyectar electricidad en la red.



Figura 15 Vehículo Eléctrico

La Agencia Internacional de Energía (IAE) [37] señala que una Red Eléctrica Inteligente (REI) es una Red Eléctrica que utiliza tecnologías digitales avanzadas, entre otras, para controlar y gestionar el transporte de electricidad, a partir de todas las fuentes de generación para satisfacer las diferentes demandas de electricidad

de los usuarios finales. La REI coordina las necesidades y capacidades de todos los generadores, operadores de la red, consumidores y participantes del mercado con el fin de operar todas las partes del sistema de la manera más eficiente posible, minimizando los costos y el impacto ambiental y al mismo tiempo maximizando la Confiabilidad del sistema, la capacidad de recuperación y la estabilidad.

A nivel mundial se han implementado programas para el desarrollo de las REI. Por ejemplo, Corea del Sur desarrolló su mapa de ruta de la REI considerando como proyectos principales el desarrollo de sistemas de gestión de la energía, desarrollo de monitoreo inteligente de la Red de Transmisión, sistemas de gestión de la distribución y desarrollo de sistemas para ofrecer servicios de energía con alto valor agregado a los clientes, entre otros. En Irlanda, el mapa de ruta de la REI para los próximos 10 años plantea el despliegue de medidores inteligentes y tarifas de tiempo de uso [38].

La REI ofrece distintos beneficios en diversos ámbitos, por ejemplo, la Confiabilidad del sistema eléctrico, a la economía, al medio ambiente, a la eficiencia y a la seguridad del sistema.

De acuerdo con [38], algunos de los principales beneficios del usar redes eléctricas inteligentes se enlistan a continuación:

1. Las empresas suministradoras pueden contar con un diagnóstico rápido de las interrupciones de los sistemas de distribución y con ello una restauración automatizada, lo que reduce el tiempo total de la interrupción con importantes beneficios económicos.
2. Se ofrece soporte a la generación distribuida debido a que la red tiene la capacidad de operar de forma dinámica todas las fuentes de generación conectadas a la red, permitiendo que los usuarios participen en la integración de generación distribuida.
3. Ofrecer a los usuarios finales información sobre su consumo de electricidad para que puedan tomar decisiones más inteligentes sobre la forma en la que consumen energía.

De acuerdo con la Unión Internacional de las Telecomunicaciones (UIT) y con el Instituto Nacional de Estandarización y Tecnología (NIST), los requisitos de las redes inteligentes se han clasificado en un modelo de tres áreas: servicios y aplicaciones en redes inteligentes, área de comunicaciones y el área de equipo físico, y siete dominios: mercado, clientes, proveedores de servicios, operaciones, generación, transmisión y distribución [28] [29].

Las redes eléctricas inteligentes pueden usarse entre otras para mejorar la eficiencia energética y la respuesta a la demanda [22].

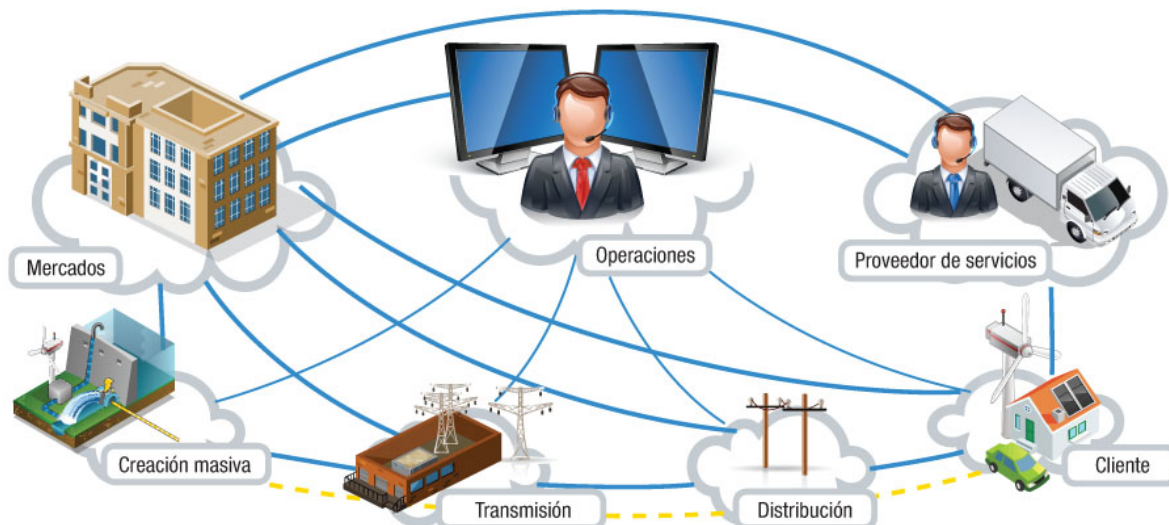


Figura 16 Modelo de Referencia del NIST para Redes Eléctricas Inteligentes

De acuerdo con [34] los sistemas de medición inteligente son una solución compuesta por medidores inteligentes, infraestructura de telecomunicaciones y sistemas centrales que permite una gestión remota y automática de la red, así como un flujo bidireccional de información y energía, permitiendo optimizar el funcionamiento de la red.

Los Sistemas de Medición y gestión inteligente de consumo eléctrico de acuerdo con [34] ayudan entre otras cosas a la empresa eléctrica a:

- Auto-restauración del servicio ante perturbaciones (fallas de equipos, accidentes, fenómenos climáticos, sabotaje, etc).
- Ajuste autónomo de las condiciones de operación del sistema a partir de esquemas más sofisticados de predicción de situaciones que puedan llevar a emergencias.
- Mayores niveles de interactividad de las empresas con sus clientes y de estos con el propio mercado de energía (flujos continuos y bidireccionales de información).
- Participación de los clientes como agentes activos del mercado de energía (ajuste del consumo como respuesta a señales del sistema e incluso flujos bidireccionales de electricidad).
- Almacenamiento de la electricidad producida por fuentes que la generan en momentos y cantidades diferentes a los en que se consume (centrales filo de agua, solar, eólica, etc.).
- Integración de toda la información del sistema eléctrico (técnica, operativa, financiera, contable, comercial, etc.) y de subsistemas diversos y nuevos, heterogéneos, pero interactivos.

De acuerdo con [34] los sistemas de medición eléctrica inteligente ayudan a los clientes entre otras cosas a:

- Gestión de energía de usuarios residenciales (pantallas con información del consumo y del mercado asociadas a herramientas de software además de aplicaciones para dispositivos móviles, electrodomésticos inteligentes que modifican su consumo según las condiciones del sistema conectados a redes de área doméstica, micro redes aislables en conjuntos residenciales alimentadas con energías renovables y con respaldo de dispositivos de almacenamiento de energía, etc.).
- Gestión de energía de usuarios industriales/comerciales (aplicaciones y equipos para monitorear y ajustar consumos en tiempo real conectados a los sistemas de información del mercado, mini redes aislables en parques industriales y zonas francas apoyadas por cogeneración y trigeneración con la posibilidad de vender excedentes, etc.).
- Movilidad Eléctrica (electrificación de los sistemas de transporte masivo y ferroviarios, vehículos eléctricos, etc.).

Para los operadores de red (distribuidores) y comercializadores se obtienen las siguientes ventajas del uso de sistemas de medición inteligente [34]:

- Integración tanto de generación distribuida a partir de fuentes no convencionales renovables, almacenamiento de energía y transporte eléctrico conectado a la red.
- Nuevos servicios (eficiencia energética, almacenamiento de energía, respaldo, medición bidireccional, gestión de alumbrado público, tráfico, seguridad ciudadana, etc.) y opciones para el cliente (energía de prepago, control directo de carga, ciberseguridad)
- Sistemas de trastienda para el negocio (sistemas de información geográfica -GIS, sistemas de gestión de la distribución de energía -DMS y las interrupciones - OMS/FDIR, sistemas de información de los clientes -CIS, sistemas de gestión de los datos de medida, etc.)
- Automatización de los circuitos alimentadores de distribución y condensadores (control de pérdidas, tensión y reactiva, sensores y procesadores embebidos en líneas y transformadores).
- Monitoreo y gestión de activos de red basado en la condición.

Un medidor tradicional electromecánico es un instrumento de medida cuya única función es registrar el consumo eléctrico en una instalación eléctrica durante un periodo de tiempo largo, usualmente un mes o un bimestre. Un medidor inteligente o medidor avanzado, de acuerdo con [38] es un dispositivo electrónico programable que incorpora una o más de las siguientes funciones:

- Medición y registro de variables eléctricas como tensión, demanda y energía consumida de una instalación en periodos cortos de tiempo (normalmente una hora; aunque pueden detectar y registrar lecturas cada 15 minutos).
- Proporciona información del consumo eléctrico tanto al cliente como al operador del sistema eléctrico y/o la empresa suministradora. Al cliente lo

hace a través de la Red de Área Doméstica, mientras que al suministrador u operador lo hace a través de la Red de Área Extensa.

- Medición de dos vías (bidireccional). Este medidor inteligente puede registrar la energía proporcionada por el suministrador y la generada por el usuario, en caso de que éste cuente con alguna tecnología de generación distribuida en su instalación.
- Operaciones de conexión y desconexión de carga. Un medidor inteligente puede ser controlado remotamente por el suministrador u operador con fines de corte o reconexión del servicio de suministro.
- Monitoreo de la Calidad de la energía. Un medidor puede monitorear valores de variables eléctricas en el punto de interconexión con el usuario y enviarlos al suministrador u operador para su análisis.
- Comunicación con otros dispositivos inteligentes. Un medidor inteligente es capaz de comunicarse mediante protocolos inalámbricos (Home Area Network, Zigbee, Bluetooth, etc.) con electrodomésticos e incluso controlar su consumo de energía.
- Detección de robo de energía. Puesto que un medidor inteligente tendrá la capacidad de registrar la cantidad de energía que recibe el usuario por parte del suministrador y la cantidad de energía que consume en su instalación, se podrá detectar cualquier cantidad sobrante de energía consumida que represente robo de energía.

La implementación de un medidor inteligente, que es parte de un sistema inteligente de monitoreo, ofrece varios beneficios tanto al lado de la demanda como al del suministro, como lo son:

- Constituir una buena herramienta de gestión de la demanda debido a su capacidad de medir, registrar y enviar al suministrador información en tiempo real del consumo eléctrico del cliente.
- La comunicación bidireccional que ofrece un medidor inteligente propicia una interacción directa entre el usuario y el suministrador.
- Proporciona al usuario información accesible en tiempo real sobre su consumo. Dicha información ayuda a que gestione de mejor forma su consumo.
- Crean un ambiente propicio para la implementación de programas de respuesta de la demanda como son los esquemas tarifarios dinámicos, ya que permiten registrar el consumo eléctrico asociado a diferentes horas del día.
- Permiten al suministrador restaurar, de manera más eficaz, el servicio después de una interrupción o corte.
- Tienen un efecto favorable sobre el sistema eléctrico, pues aligeran la congestión en la red de transmisión y distribución al habilitar programas de gestión de la demanda.
- Permiten al suministrador u operador del sistema tener un mayor control sobre la carga.

- Permiten la integración de fuentes de energía como sistemas fotovoltaicos o eólicos interconectados; así como equipo de almacenamiento de energía.
- Reducen los costos de operación del suministrador, pues ya no será necesario enviar personal a leer los medidores

A diferencia de los medidores electromecánicos tradicionales, los cuales pueden llegar a girar más lento a medida que transcurre su vida útil, la precisión de los medidores inteligentes, que carecen de componentes mecánicos, no se reduce a medida que pasa el tiempo, por lo que se registra una lectura más justa.

Un medidor inteligente es un dispositivo que mide y registra variables como electricidad, gas, agua, presión, o calor, que permite comunicación bidireccional para transmitir información.

La infraestructura de medición avanzada (AMI) es un sistema que mide, recopila y analiza el uso de la energía, y se comunica con los medidores inteligentes para fines de seguimiento y facturación [30] (ver Figura 17).

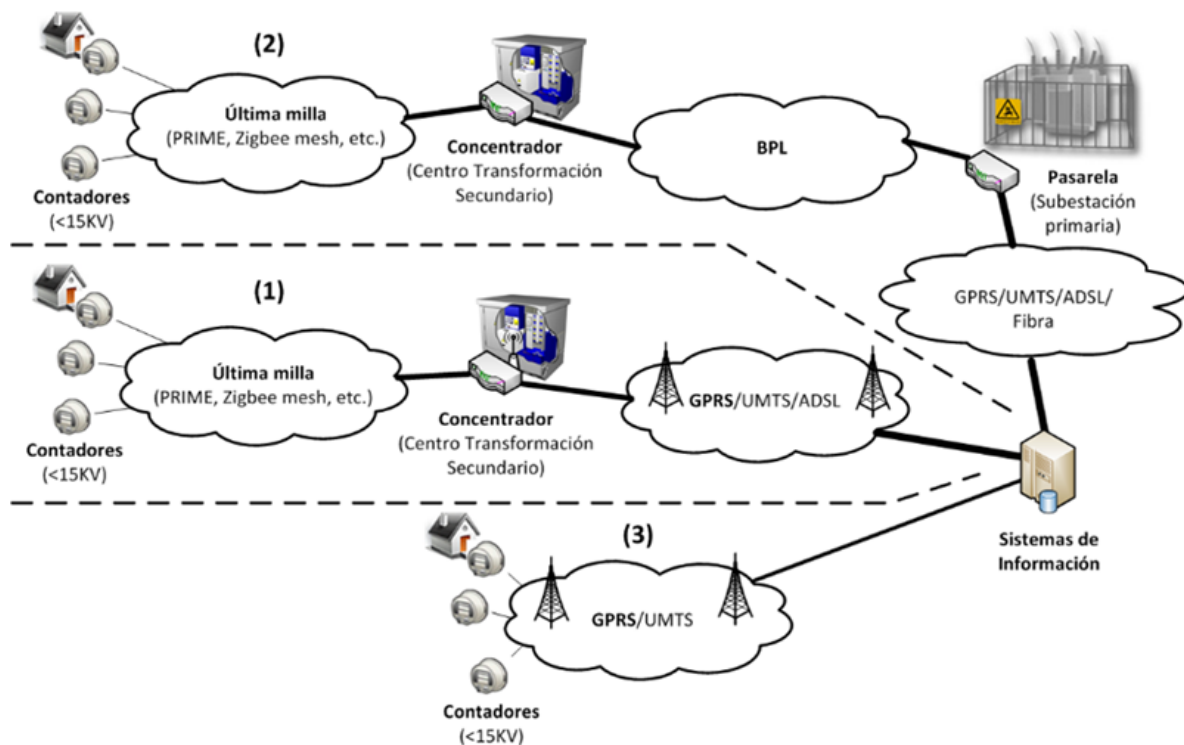


Figura 17 Infraestructura de Medición Avanzada

De acuerdo con [34] las principales características de un medidor inteligente son:

- Integrar comunicación bidireccional
- Entregar señales en caso de ser intervenido o si se trató de intervenir
- Ser configurado para medir distintas tarifas al mismo tiempo
- Entregar información de la calidad de energía.

- Realizar telemedida, es decir, ser leídos a distancia con distintas opciones de comunicación, y muchas veces, éstos pueden interactuar con el usuario.
- Integrarse con otros servicios como gas y agua.
- Integrarse a aplicaciones que permitan al cliente observar y administrar la información a través de otros dispositivos inteligentes.

AMI es un elemento clave en las redes inteligentes, ya que proporciona información exacta en tiempo real a los consumidores informando la cantidad de energía que están utilizando para que puedan controlar su consumo. La industria de la energía tiene gran expectativa en esto debido a que tiene grandes ventajas en la precisión y la mejora de los procesos de lectura y control de los medidores en línea; sin embargo, los beneficios de AMI se ven contrarrestados por la necesidad de implementar sistemas de seguridad cibernética [31] (ver Figura 18 y 19).

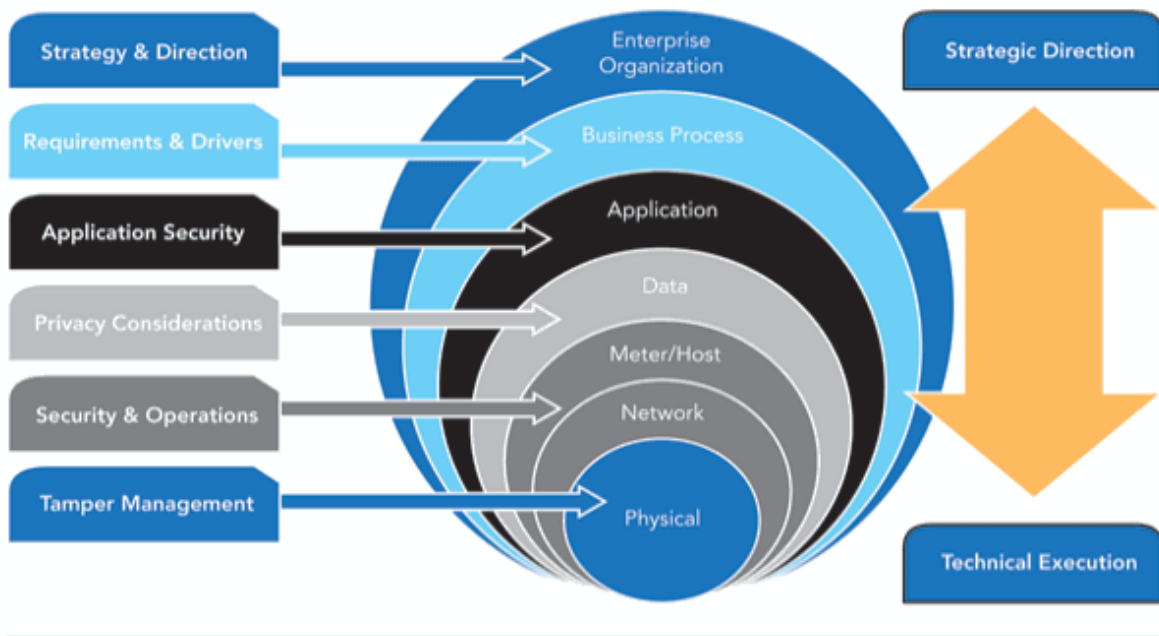


Figura 18 CiberSeguridad en Redes Eléctricas Inteligentes

El problema se agrava si se toma en cuenta que los antiguos dispositivos de control e instrumentación industrial (SCADA, EMS) no fueron diseñados para soportar medidas de seguridad tales como antivirus, detectores de intrusos, mecanismos de autenticación y de control de acceso. En 2010 se descubrió un gusano informático, conocido como Stuxnet, que es capaz de reprogramar Controladores Lógicos Programables (PLC por sus siglas en inglés) y ocultar los cambios realizados.

Existen informes documentados que señalan la posibilidad de reprogramar un smart meter, para que reporte consumos inferiores a los reales, esto sin alterar físicamente el dispositivo. Un ciberataque contra los smart meters puede ocasionar manipulación masiva de información de los usuarios, fraude y denegación del servicio [40].

Un elemento clave de AMI es el Repositorio de datos (MDR), el cual de acuerdo con [39], es el sistema encargado de administrar la base de datos de almacenamiento de la información de mediciones leídas por los medidores eléctricos inteligentes, y además posee el software destinado a facturación. Debe estar vinculado al sistema encargado de administrar la información de cada cliente de la empresa distribuidora, también llamado Sistema de Información al Cliente (CIS), con el cual el usuario puede ingresar al sistema, indicar el número de medidor que posee y desplegar los valores facturados y el tiempo de uso.

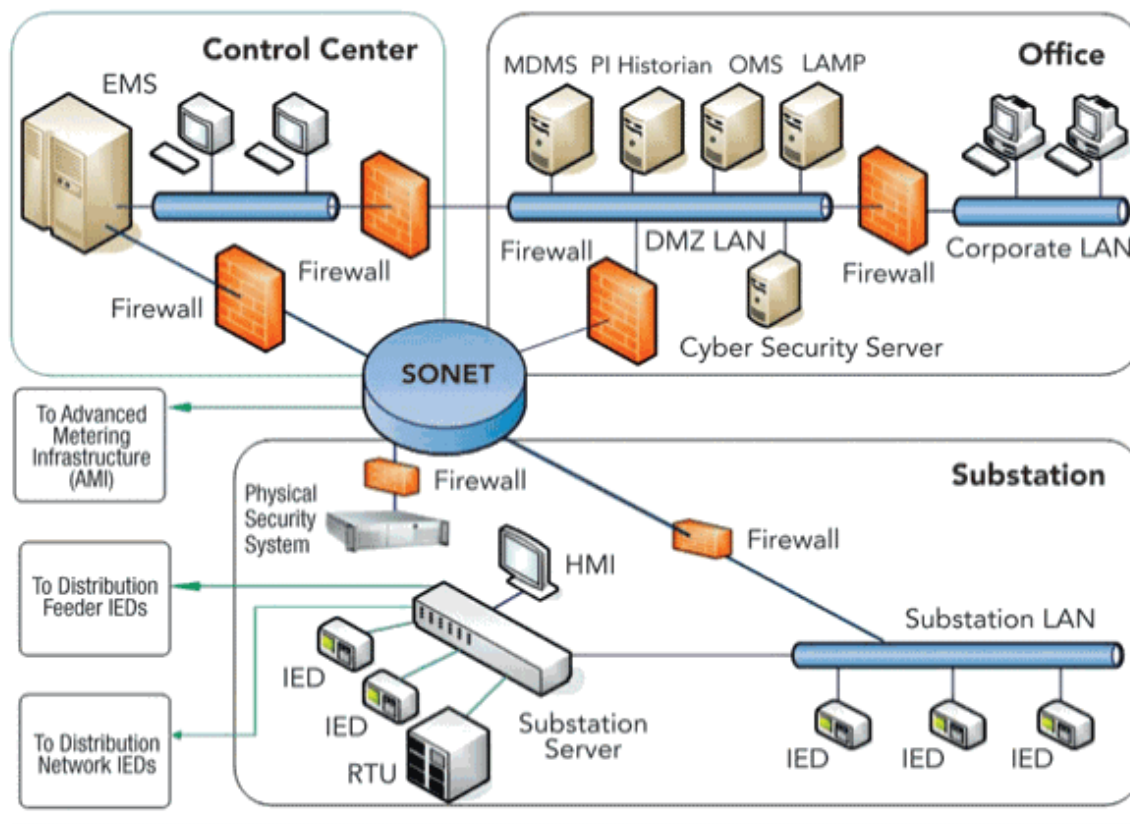


Figura 19 Seguridad en Redes de Comunicación para las REI

El Gestor de datos (MDM), provee servicios de administración de los datos de medición, permitiendo el intercambio de información entre los medidores inteligentes y otras aplicaciones. Permite que los sistemas de facturación, información al cliente, y otros sistemas relacionados puedan consumir la información dada por los medidores de energía. Además, debe poseer las herramientas necesarias para que dicha información se pueda visualizar como históricos de consumo y datos de facturación. El acceso debe implementarse para plataformas web, móviles y otras requeridas por los usuarios del sistema.

La arquitectura general de datos de un sistema de medición eléctrica inteligente se puede apreciar en la figura 20.

La tecnología AMI es un componente clave para la reducción de pérdidas en las redes eléctricas inteligentes (ver Figura 21), originado del requerimiento del intercambio oportuno de información en tiempo real, del consumo de energía y de la demanda entre las empresas de electricidad y los consumidores.

Los medidores inteligentes permiten a proveedores y consumidores conocer en tiempo real el consumo de energía.

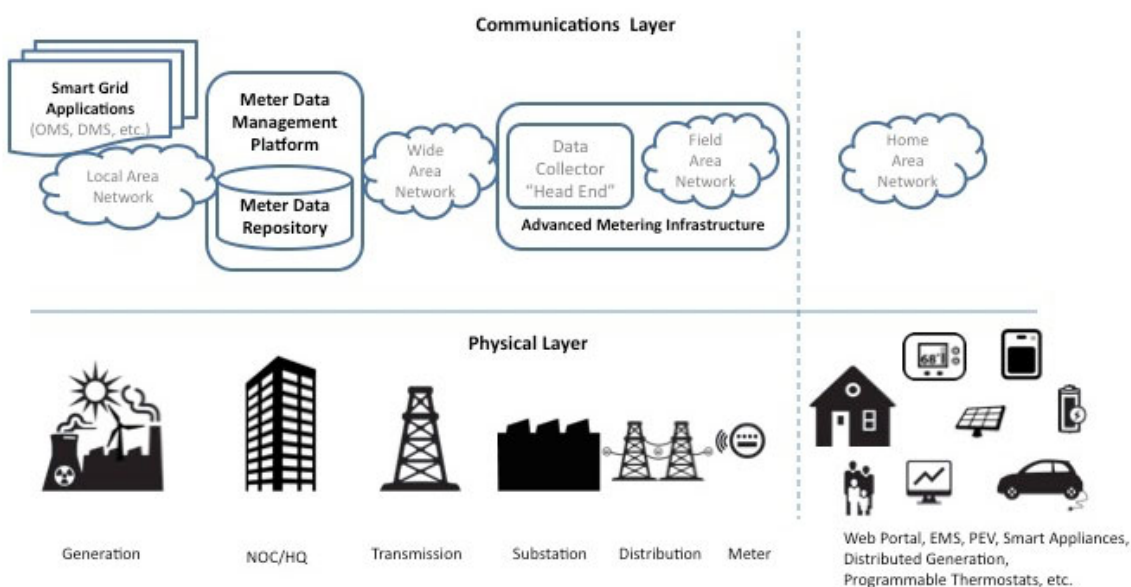


Figura 20 Arquitectura General de Datos en Mediciones Eléctricas Inteligentes



Figura 21 Pérdidas no técnicas de energía eléctrica (robo de energía)

Los medidores inteligentes acompañados de pantallas en casa permiten monitorear el uso de energía en casa. Para el 2020, cada casa en Gran Bretaña ofrecerá medidores inteligentes de electricidad y gas.

Los electrodomésticos suman alrededor del 13% de los costos de energía de su casa, con refrigeración, cocina y lavandería encabezan la lista [34].

Cuando compre electrodomésticos, piense en dos precios. El primero es el precio de compra (considérelo como un anticipo). El segundo precio es el costo de hacer funcionar el aparato durante su vida útil. Este segundo precio lo pagará todos los meses con su factura de energía durante los próximos 10 a 20 años, dependiendo del aparato que se trate. Los refrigeradores duran un promedio de 12 años; las lavadoras de ropas alrededor de 11 años; las lavadoras de platos alrededor de 10 años; y los acondicionadores de aire alrededor de 9 años. Cuando vaya a comprar un nuevo electrodoméstico, busque la etiqueta ENERGY STAR® (ver figura 22).



Figura 22 Logo Energy Star que indica que un dispositivo eléctrico usa eficientemente la energía

Algunos fabricantes ofrecen ahora electrodomésticos “inteligentes (equipos que se pueden conectar a medidores eléctricos inteligentes o sistemas de gestión de energía del hogar) para ayudarle a usar la electricidad fuera de las horas de mayor

consumo. Podrá encontrar acondicionadores de aire, refrigeradores, lavadoras de platos y otros electrodomésticos en versiones “inteligentes”.

Los electrodomésticos inteligentes no se limitan a apagarse en las horas de mayor demanda de electricidad (en lugar, usan maneras sutiles de utilizar menos energía). Usted quizás no se dé cuenta. Por ejemplo, su acondicionador de aire puede funcionar un poco menos frecuentemente. O su refrigerador puede demorar su ciclo de deshielo hasta el medio de la noche.

De acuerdo con [23], se pueden utilizar pronósticos del clima para mejorar la eficiencia energética con el uso de energías renovables.

Para el 2020 en la Unión Europea se esperan 200 millones de medidores inteligentes de luz y 45 de gas. Lo que representa una inversión de 45 billones de Euros. Además, se espera que el 72% de los consumidores europeos tengan un medidor inteligente de energía eléctrica y un 40% de gas [23]. Los costos de instalación de un medidor inteligentes oscilan entre los 200 y 250 Euros.

De acuerdo con [24], los consumidores que son fáciles de activar los beneficios del consumo energético son los que tienen mayor consumo energético.

En general, los Modelo de precios del mercado eléctrico se dan en tiempo real, sobre todo en mercados mayoristas. Existen precios para los horarios picos y fuera de picos [24]. En general en México las tarifas eléctricas son planas.

Las principales compañías generadoras de medidores inteligentes de acuerdo con [25] son: Itron, Siemens AG, Landis + GYR, Schneider Electric SA, Circutor SA, Isca Ltd, Iskraemeco, Holley Metering, Honeywell International, Osaki Electric, Elster Group, Npetune Technology y Sensus Sentec.

Un problema principal de los medidores inteligentes es la privacidad de la información (ver Figura 23).

En [26] se muestra como los datos de consumo pueden ser analizados para obtener información sensible de que hace una persona dentro de su hogar. Por ejemplo:

- ¿Estuviste en la casa en la mañana? Se puede analizar con el consumo de energía
- ¿Dormiste bien? Se puede obtener al checar las luces prendidas durante las noches.
- ¿Viste el juego en la noche? Se puede obtener al monitorear el consumo de TV sobre el horario específico
- ¿Dejaste a tus niños solos? Se puede obtener al analizar el comportamiento de energía por parte del usuario.

- ¿Desayunaste comida fría o caliente? Se puede obtener revisando patrones de dispositivos en la mañana tales como: microondas, máquina de café, tostadora, etc.

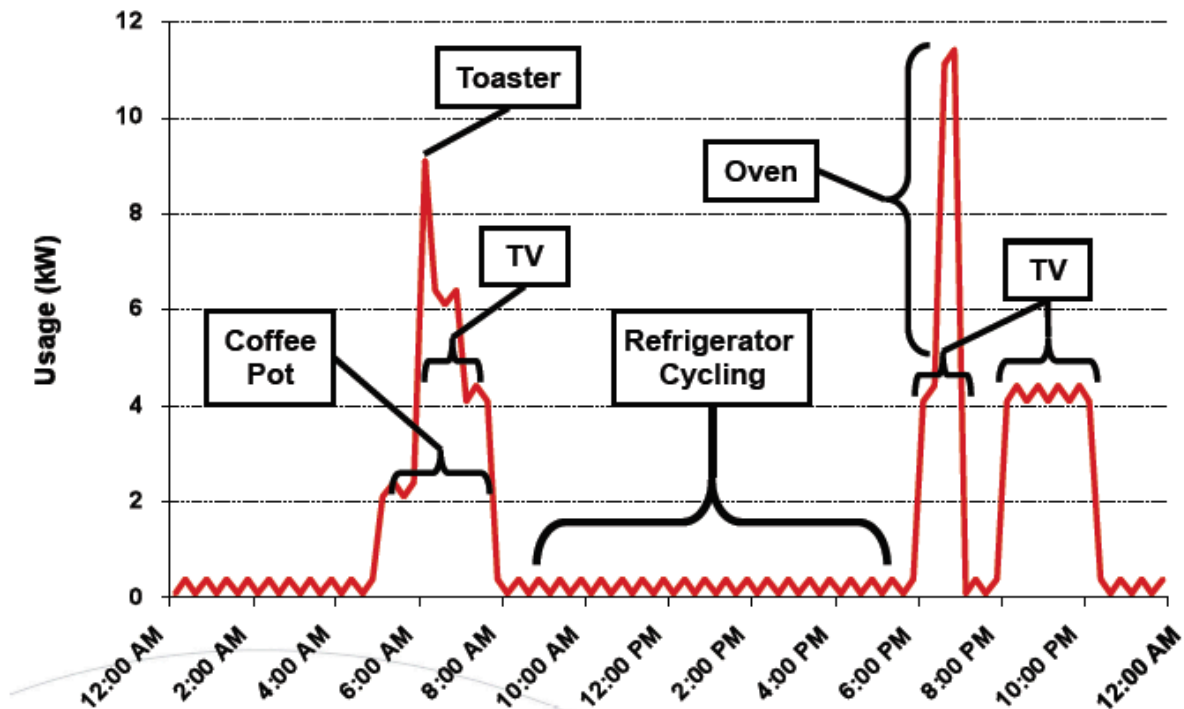


Figura 23 Privacidad en el Consumo Eléctrico

Otra área de gran interés en el diseño de las Recomendaciones para el contenido de las notificaciones de eficiencia energética. En [27] se muestran algunas consideraciones de cómo deben estructurarse los mensajes a mostrar a los usuarios como:

- Los avisos deberán estar enfocados en consejos prácticos de “como hacerlo”
- Los avisos deberán ser personalizados de acuerdo a la audiencia.
- La “Gamificación” (teoría de juegos serios) ayuda a motivar a los usuarios en cuestión comportamientos de eficiencia energética ya que se ve como todo un reto el poder lograr mayores ahorros energéticos que el vecino o que el amigo.

Otras Recomendaciones de cómo y cuándo se deben entregar las notificaciones de eficiencia energética de acuerdo con [27] son:

- Deben ser entregadas en diferentes horarios dependiendo de la temporada.
- Cuando se instalan los medidores inteligentes se suelen dejar notificaciones de una sola vía como manuales impresos. Es aconsejable dejar comentarios bidireccionales a través de los técnicos que realizan la instalación para que los consumidores despejen todas sus dudas.

- Deben entregarse por distintos medios incluyendo videos, manejo de redes sociales entre otros (consejos de otros usuarios).
- Mensajes de objetos de bajo costo pueden incentivar a los consumidores al manejo eficiente de energía eléctrica.

Otras Recomendaciones para personalizar notificaciones a grupos específicos de consumidores se muestra en [27]:

- Durante las visitas de instalaciones se pueden aplicar cuestionarios para perfilar grupos de usuarios.
- Usar juegos y retos para los diferentes tipos de audiencias.
- El estilo de redacción de los mensajes es importante así como los formatos alternativos y mensajes.
- El lenguaje debe dejar lo técnico por algo simple y visible. Algo que no se puede influenciar por algo que se puede controlar.

Otro de los grandes problemas en muchos países principalmente en Latinoamérica son las pérdidas no técnicas y en México no es la excepción [32].

La Agregación de demanda de acuerdo con [33] es el control dinámico de cargas es una forma eficiente de gestionar y optimizar la autogeneración y demanda de una microrred. La plataforma RESI® de Amigo Solar permite agregar la demanda de los edificios y configurar de forma remota distintas tarifas por tramo horario, con el fin de disminuir los consumos durante los periodos de demanda máxima del sistema eléctrico. Los medidores pueden ser configurados con hasta cinco relés individuales de control de carga.

En la figura 24 se muestra la demanda de la energía eléctrica en algunos países de Latinoamérica.

Para [35], gestionar la demanda eléctrica significa administrar el consumo eléctrico en una instalación residencial, comercial o industrial de manera que se trate de obtener como resultado: la minimización de la facturación eléctrica, la maximización del trabajo útil de las cargas eléctricas instaladas o la minimización de la cantidad de carga conectada a la instalación sin sacrificar confort ni interrumpir procesos productivos.

Una de las estrategias de gestión de la demanda es el control directo de carga, en el cual el Suministrador o el operador del sistema tienen control sobre parte de la carga de un usuario. Mediante vías de comunicación alámbricas o inalámbricas entre la carga y la Red Eléctrica, es posible apagar y encender la carga cuando el Suministrador o el operador lo consideren necesario; en horarios de demanda pico o de emergencias en el sistema [36]. Los equipos idóneos para este tipo de programas son “aquellos que poseen algún tipo de inercia térmica tales como calentadores de agua, calefacciones y equipos de aire acondicionado”. En un contrato de control directo de carga, el Suministrador o el operador especifica el

número máximo de ocasiones y la duración de cada una de ellas en las que la carga controlable puede ser desconectada.

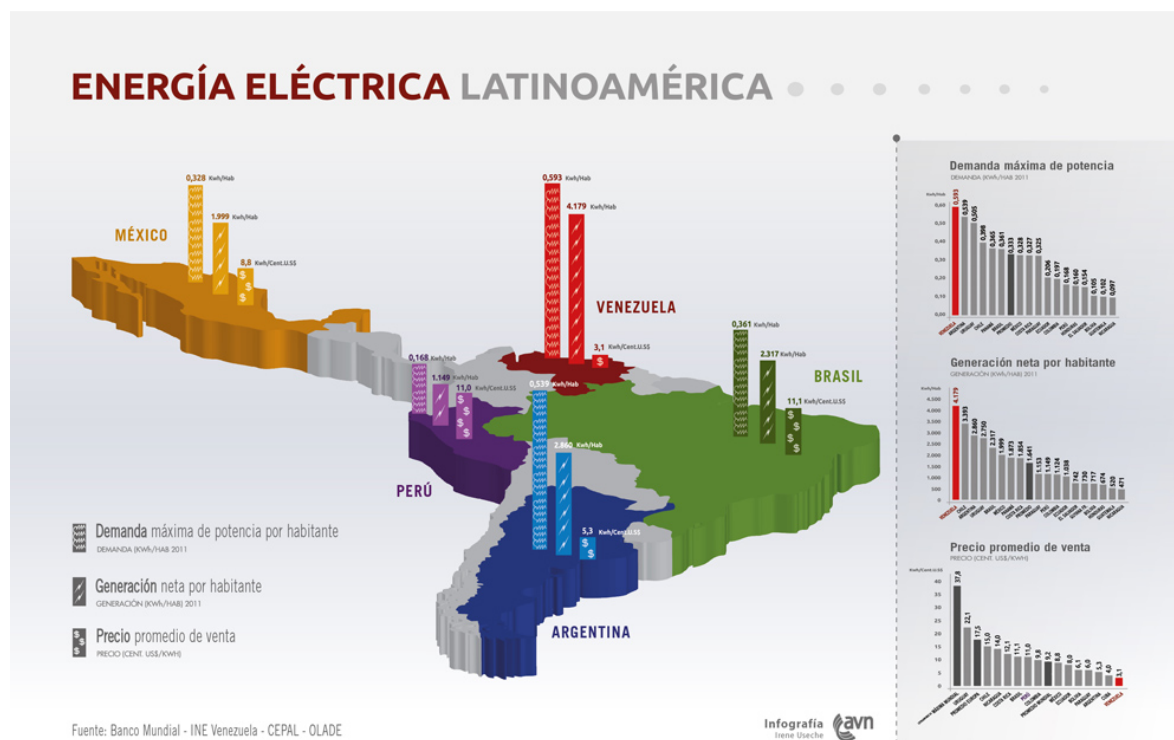


Figura 24 Demanda de Energía Eléctrica en Latinoamérica

Existen algunos aspectos que restringen la aplicación de forma extendida de programas de gestión de la demanda, entre éstos podemos encontrar: falta de información y desconocimiento del tema, falta de AMI y esquemas tarifarios estáticos. La escasa o nula difusión de temas como eficiencia energética, esquemas tarifarios dinámicos y Confiabilidad del sistema eléctrico ocasionan desinterés por participar de manera activa en programas de gestión de la demanda. Además, existe una falta de metodología para cuantificar los costos involucrados y beneficios obtenidos con la implementación de estos programas, lo que crea desconfianza en los consumidores. En el estudio realizado por [36] se encontró que para que un programa de gestión de la demanda sea exitoso debe contener seis componentes:

1. Esquemas tarifarios adecuados
2. Incentivos por parte de las empresas suministradoras
3. Acceso del usuario a la información de su consumo
4. Control y automatización de carga
5. Verificación del impacto y de los resultados de las medidas implementadas
6. Educación y marketing.

Este último componente consiste en conducir campañas dirigidas a diferentes sectores para sensibilizar el comportamiento de consumo de los usuarios y enfatizar

los beneficios de tecnologías empleadas en los programas de gestión. Por otro lado, para soportar la implementación de programas de gestión de la demanda se debe contar con la infraestructura necesaria para que el consumidor pueda interactuar en tiempo real con la red. Se requiere en particular de dispositivos de control y medición y sensores que envíen la información al operador del sistema o al Suministrador del servicio. El costo asociado a esta infraestructura que debe cubrir el consumidor es en ocasiones mayor al beneficio monetario que pueda llegar a obtener.

La demanda de energía eléctrica depende de muchos factores: hora del día, día de la semana, estación el año, clima, patrón de consumo de los usuarios, entre otros. Puesto que la electricidad no se puede almacenar a gran escala para satisfacer las necesidades de todos los usuarios, esta debe generarse en el momento justo en el que se demanda. Cada planta generadora de electricidad tiene un costo de producción asociado que depende del precio del combustible empleado, gastos de mantenimiento, amortización de la inversión, etc. Normalmente, las plantas con menor costo de producción y tiempos de arranque y paro largos generan electricidad en horas de demanda base, intermedia y pico, mientras que las plantas con costos de producción más altos y tiempos de arranque y paro cortos la generan en las horas pico. Por ello, el precio de la electricidad varía directamente con la demanda. Si se demanda energía en periodos base, el costo de producirla es bajo, porque el operador del sistema emplea recursos poco costosos. En cambio, si la demanda de energía se incrementa, el operador se ve obligado a emplear recursos más costosos. Una empresa suministradora de energía eléctrica puede o no cobrar al usuario un precio por la energía que tome en cuenta la variación del costo debido al comportamiento de la demanda. Si la variación del costo debido a la demanda no se toma en consideración, hablamos de un esquema tarifario estático. Si se toma en cuenta dicha variación, se trata de un esquema tarifario dinámico.

Un sistema inteligente de monitoreo de consumo eléctrico, de acuerdo con [38] se puede entender como un conjunto de elementos tecnológicos que desempeña la función de mejorar la eficiencia del sistema eléctrico y de involucrar al Usuario Final de manera más activa en su consumo.

El sistema inteligente de monitoreo de consumo eléctrico puede componerse de los siguientes elementos: un medidor inteligente de consumo eléctrico (Smart meter, en inglés), una Red de Área Doméstica (Home Area Network HAN, en inglés) como medio de comunicación entre dispositivos y equipo eléctrico en la instalación, un dispositivo de visualización de información (In-Home Display IHD, en inglés) para visualizar de manera sencilla e inmediata información del consumo energético en tiempo real y una Red de Área Extensa (Wide Area Network WAN, en inglés) como medio de comunicación entre el usuario y el suministrador o el operador del sistema eléctrico (ver Figura 25 y Figura 26).

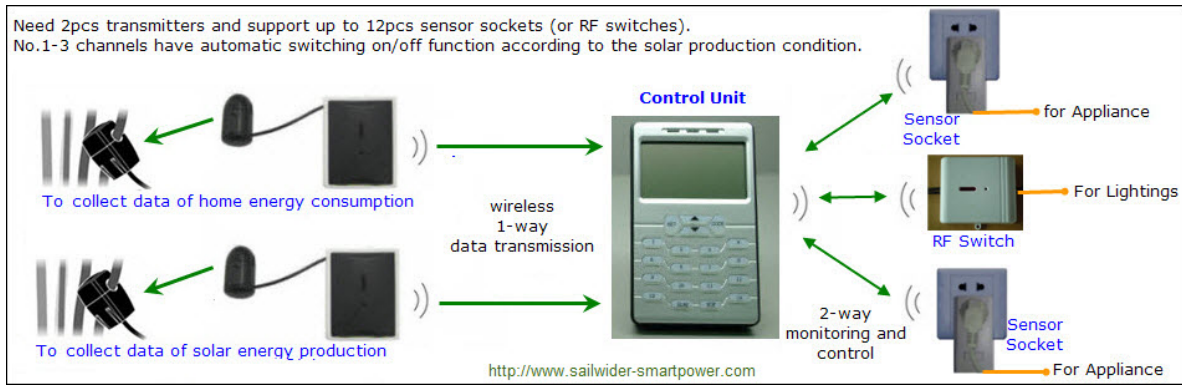


Figura 25 Esquema general de un sistema de monitoreo de energía eléctrica inteligente (hardware)



Figura 26 Esquema general de un sistema de monitoreo de energía eléctrica inteligente (software)

Un sistema inteligente de monitoreo de consumo eléctrico ofrece beneficios tanto al suministrador del servicio como al usuario. Entre los beneficios al usuario está el hecho de que este tipo de sistemas proporciona información detallada sobre el consumo eléctrico en una instalación eléctrica.

A diferencia de un medidor eléctrico convencional, el cual muestra solamente un número que representa la energía consumida en toda la instalación en un momento dado, un sistema inteligente de monitoreo puede mostrar el consumo “desagregado” por cada circuito o incluso por cada carga conectada a la instalación. Además de

mostrar el consumo en diversas formas: consumo instantáneo, consumo acumulado durante el día, consumo histórico en el último mes, etc. De esta forma, el usuario puede tomar decisiones más informadas respecto a su forma de consumir energía en virtud de que cuenta con mayor información.

Otro beneficio consiste en la detección de fallas en la instalación. Si un sistema de monitoreo toma una lectura de consumo cuando todas las cargas de una instalación se encuentran desconectadas, significará entonces que en la instalación existe una “fuga de corriente”. Además, es posible gracias a un sistema de monitoreo saber si un aparato electrodoméstico o cargador consume energía en modo de espera (stand-by, en inglés), favoreciendo a eliminar situaciones en las que se consume energía de forma innecesaria.

De acuerdo con [39], la eficiencia (ver Figura 27) y la gestión (ver Figura 28) son dos conceptos diferentes pero que pueden resultar complementarios. Se puede definir la eficiencia, desde el punto de vista energético, como toda mejora que permita obtener el mismo trabajo útil y los mismos resultados utilizando un consumo de energía menor para ello. De esta forma se obtiene un ahorro energético, de emisiones y económico. También podemos incluir en este concepto aquellas medidas cuya finalidad es eliminar los consumos de energía que no producen ningún trabajo útil, puesto que de esta manera se consigue un ahorro energético sin variar el trabajo útil.

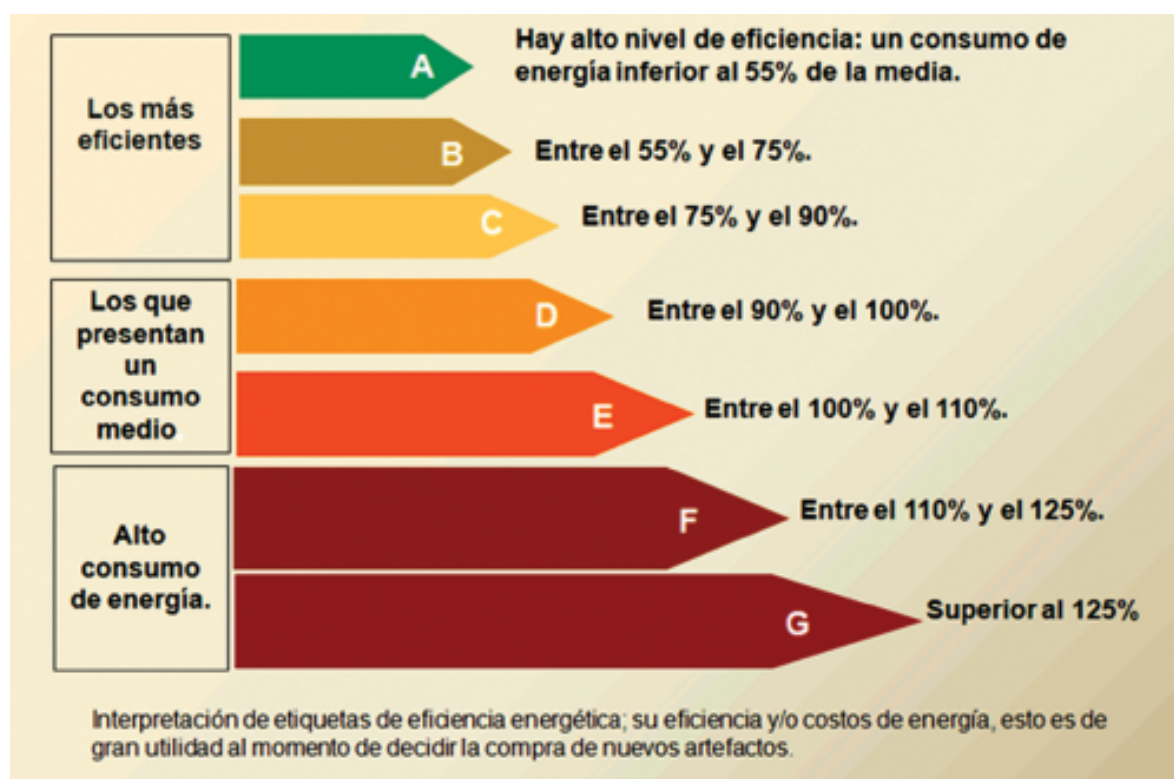


Figura 27 Etiquetas de eficiencia energética

Por otro lado, podemos entender las medidas de gestión como las que están orientadas a aprovechar las oportunidades que existen para consumir la energía con un menor coste, esto es, pagar menos por el mismo servicio.



Figura 28 Modelo general de gestión de la energía eléctrica

Las medidas de eficiencia y gestión son las acciones que un usuario puede llevar a cabo para lograr mejoras en sus instalaciones en cuanto a la eficiencia y la gestión y, por consiguiente, beneficios de diversa índole derivados de dichas mejoras. Estas acciones modifican la manera en que se consume la energía, bien afectando a su magnitud, su duración o su horario, de manera que el resultado final debe ser beneficioso para el consumidor. Estas medidas deben ser evaluadas técnica y económicamente antes de ser implantadas. Cuando se decide que son viables es cuando finalmente se pueden implantar.

La gestión de la energía y la respuesta de la demanda (DR), de acuerdo con [39] son dos conceptos parecidos, relacionados con el comportamiento del consumidor frente a los precios de la energía. Sin embargo, podemos establecer una diferencia fundamental entre ambos conceptos. Mientras que la gestión puede verse como una acción encaminada al ahorro por la adaptación del consumo para aprovechar las diferencias de precios entre distintos horarios (no modifica las transacciones totales de energía entre las dos partes), la DR no tiene como objetivo aprovechar estas diferencias más o menos fijas y preestablecidas. La DR puede entenderse como la modificación en los patrones de consumo frente a señales de precios enviadas por la compañía eléctrica.

Así, la DR puede verse como un producto o servicio que el consumidor ofrece al sistema y que puede mejorar la fiabilidad y la seguridad del mismo. La DR puede contribuir a reducir los costes del sistema por diversas razones, ya que permite aumentar la fiabilidad del suministro y reducir las reservas de generación, al mismo tiempo que permite evitar situaciones peligrosas para el sistema tales como sobrecargas por defecto de producción. Se trata, por tanto, de una oferta nueva

para intervenir en el mercado. En este caso, tanto el que ofrece el servicio, como la empresa interesada en el mismo, deben actuar desde un punto de vista empresarial, intentando alcanzar el máximo beneficio posible. De este modo, la implementación de la DR conlleva inherentemente la necesidad de ser capaz de gestionar los consumos y disponer de cierta flexibilidad en los mismos.

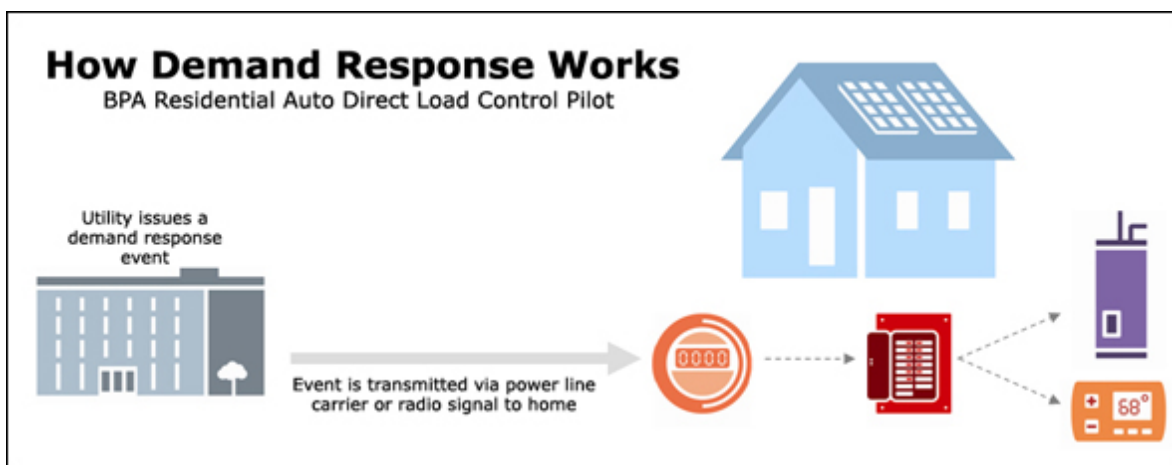


Figura 29 Esquema general de respuesta a la demanda de energía eléctrica inteligente

En la Figura 30 se puede observar el esquema general de cómo un intermediario conocidos como agregadores pueden mejorar la atención a la demanda de una forma más inteligente y optimizada.

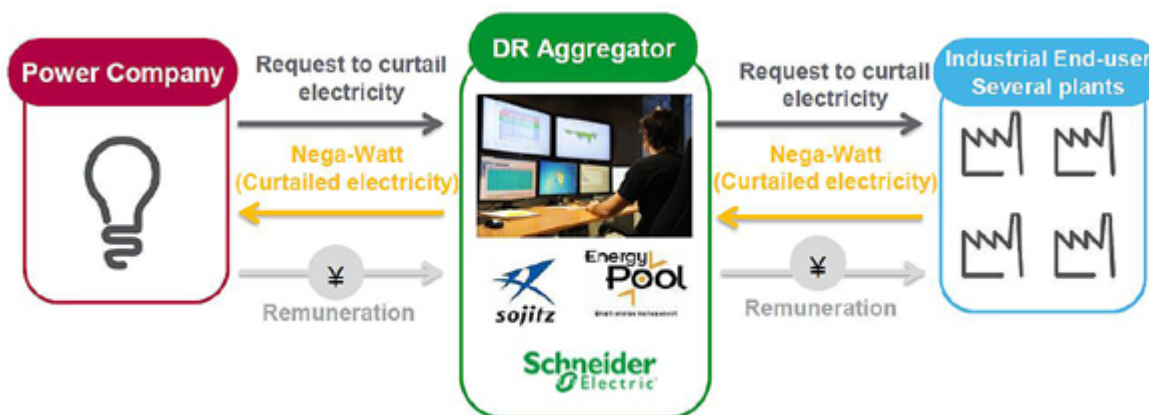


Figura 30 Esquema de Agregadores para solucionar el problema de respuesta a la demanda de energía eléctrica

Otro de los problemas fundamentales en las redes eléctricas inteligentes es que existe una gran diversidad de estándares, muchos de ellos poco interoperables con otros aunque esta tendencia va desapareciendo [40], tal y como puede verse en la Tabla 1.

Tabla 1 Estandarés en Redes Eléctricas Inteligentes

Norma	Título	Aplicación
IEEE 1711	Estándar de prueba de un protocolo criptográfico para la seguridad cibernética de subestaciones de enlaces seriales	Subestaciones eléctricas
IEEE 1686	Seguridad para dispositivos electrónicos inteligentes	Subestaciones de dispositivos eléctricos inteligentes
NERC CIP 002-009	Seguridad cibernética identificación de activos críticos	Sistema eléctrico
IEC PAC 62559	Metodología <i>intelligrid</i> para el desarrollo de requerimientos de sistemas eléctricos	Sistemas eléctricos
OPC-UA Industrial	<i>OPC Unified Architecture</i>	Sistemas de automatización
<i>Security Profile for Advanced Metering Infrastructure v 1.0</i>	Perfil de seguridad de la infraestructura de medición avanzada	Sistemas de adquisición de datos
<i>DHS Cyber Security Procurement Language for Control Systems</i>	Lenguaje de adquisición DHS de seguridad cibernética para sistemas de control	Sistemas de control
NIST SP 800-82	Guía para sistemas de control industrial de seguridad (ICS)	Sistemas de control y de adquisición de datos
ISA SP100	Estándar industrial de redes inalámbricas	Sistemas de control inalámbrico
ISA SP 99	Automatización industrial y seguridad de sistemas de control	Automatización y sistemas de control
IEC 62351 Partes 1-8	Sistemas de gestión de energía e intercambio de información asociada	Sistemas de información y de comunicaciones (dispositivos)
NISTIR 7628 vol. 1,2 y3	Directrices de seguridad cibernética para el <i>smart grid</i>	Red eléctrica inteligente (<i>smart grid</i>)
NIST SP 800-53	Guía para la evaluación de controles de seguridad en los sistemas de información federal y organizaciones	Organizaciones y sistemas de información federal
ISO 27000	Sistema de gestión de la seguridad de la información	Sistemas de información de organizaciones públicas o privadas
NIST FIPS 140-2	Requerimientos de seguridad para módulos criptográficos	Sistemas de información
OASIS WS	Estándares de seguridad OASIS	Servicios <i>web</i>

El protocolo ZigBee se basa en un modelo de “confianza abierta”. Esto significa que todas las capas de la pila de protocolos confían entre sí. Por tanto, la protección criptográfica solo ocurre de extremo a extremo, entre dispositivos. Cada capa del protocolo es responsable de la seguridad en sus respectivos frames dentro de los paquetes enviados [41].

Algunos ejemplos de vulnerabilidades en los sistemas de medición de energía eléctrica inteligentes de acuerdo con [41] son:

- Manipulación física
- Accesos remotos no autorizados
- Manipulación del SO
- Uso de tecnología legacy
- Malware
- Robo de dispositivo
- Bloqueo de señal
- Sniffing de la red
- Problemas en la configuración del cifrado
- Filtración de información
- Suplantación de identidad
- Denegación de servicio
- Métodos de autenticación
- Interoperabilidad
- Gestión de dispositivos
- Problemas de configuración

Marco Metodológico

Diseño de la Investigación

La metodología que se seguirá para el desarrollo de esta investigación es la siguiente:

1. Se revisará la literatura y se completará el estado del arte actual de los Sistemas de Gestión de Energía que utilizan Infraestructura de Medición Inteligente a través del uso de base de datos embebidos, analítica de los datos, procesamiento de señales para eficientar el uso de energía eléctrica en los hogares.
2. Identificar la mejor plataforma de hardware en la que se pueden implementar bases de datos relaciones y no relacionales en medidores y gateways inteligentes.
3. Identificar las mejores tecnologías de red PLC y de sensores para la implementación de las comunicaciones entre los dispositivos electrodomésticos con los medidores inteligentes, así como de éstos con los colectores/concentradores.
4. Implementación y/o adecuación de la arquitectura en hardware y telecomunicaciones utilizadas
5. Implementación del Sistema Web adaptativo de Control de la gestión de la eficiencia energética.
6. Implementación del sistema de detección de patrones de consumo de dispositivos y generación de perfiles de consumo de usuarios utilizando procesamiento de señales y analítica de datos.
7. Importación de patrones de consumo de energía eléctrica tanto de dispositivos como de usuarios a través del uso de la computación en nube.
8. Implementación del sistema de calendarización de cargas de trabajo y pronóstico inteligente de cargas.
9. Implementación del sistema de monitoreo de calidad de la energía y balanceo de cargas.
10. Pruebas de integración de cada uno de los módulos de la arquitectura.
11. Publicación y difusión de resultados parciales y finales en Congresos Internacionales y revistas arbitradas.

Población y Muestra

Se utilizará una arquitectura básica de un concentrador/Gateway conectado a dos medidores eléctricos inteligentes, cada uno de ellos conectados a al menos tres dispositivos electrodomésticos como licuadoras, planchas, televisores, computadoras, refrigerador, aire acondicionado, calefactor, sistema de iluminación, entre otros (ver Figura 31).



Figura 31 Arquitectura General de un medidor/concentrador eléctrico para el hogar

Finalmente se probará con un tercer medidor inteligente (con conexiones a otros electrodomésticos) conectándose a otro colector/concentrador para demostrar que la arquitectura propuesta es escalable.

Se pretende realizar simulaciones para escalar la arquitectura a un nivel de vecindario/ciudad pequeña.

Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos

Los datos se obtendrán directamente de los dispositivos electrodomésticos que se agreguen a la red eléctrica de cada uno de los medidores inteligentes. A su vez se recolectarán datos de los concentradores.

Por otra parte, se recopilarán datos existentes de firmas de consumo eléctrico de usuarios y patrones de consumo individuales de electrodomésticos que estén disponibles en Internet.

1. Placas de computadoras como Raspberry Pi (ver Figura 33) para los medidores inteligentes.



Figura 33 Raspberry Pi

2. Servidor con altas capacidades de cómputo para que funcionen como colectores/pasarelas (ver Figura 34) de los medidores inteligentes.



Figura 34 Concentrador/Collector de Datos de MEdidores Eléctricos Inteligentes

3. Módulos de Comunicación PLC (ver Figura 35).

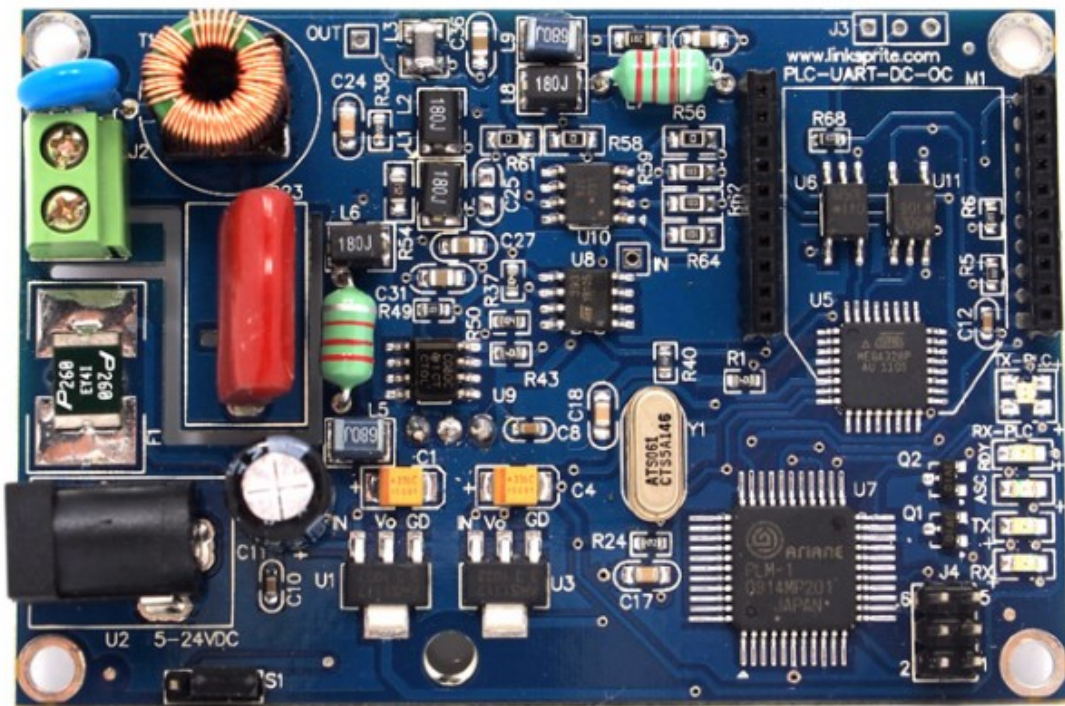


Figura 35 Modem para comunicación de datos por líneas de potencia

4. Módulos de Comunicación de Sensores Inalámbricos como ZigBee (ver Figura 36)



Figura 36 Tarjeta de Sensores Inalámbrico

5. Módulos de Almacenamiento persistente de alta capacidad en ROM/Flash RAM que sea programable (ver figura 37).



Figura 37 Memoria RAM y ROM no volátiles

6. Diversos electrodomésticos como: licuadoras, planchas, televisores, computadoras, horno de microondas, refrigerador, aire acondicionado, entre otros tanto convencionales como inteligentes (ver Figura 38).



Figura 38 Electrodomésticos inteligentes

7. Equipo de cómputo para programar los microcontroladores y desarrollo del sistema de monitoreo en Web adaptativa (ver Figura 39).

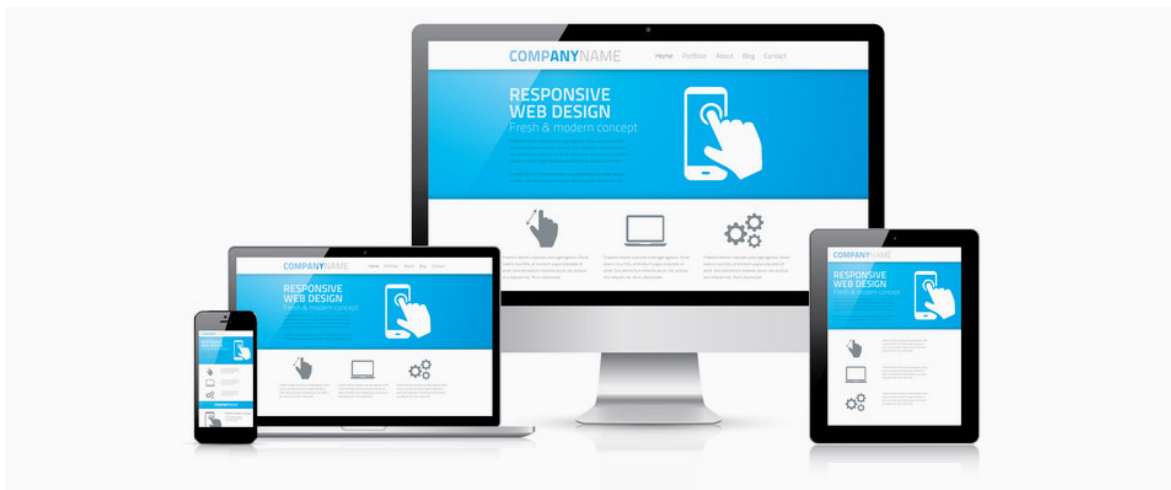


Figura 39 Desarrollo Web Responsivo

8. Otros consumibles como cables de energía eléctrica.

Cronograma de Actividades

A continuación se listan los tiempos en que se desarrollarán cada una de las fases de la metodología. El Proyecto tiene una duración efectiva de 24 meses (2 años).

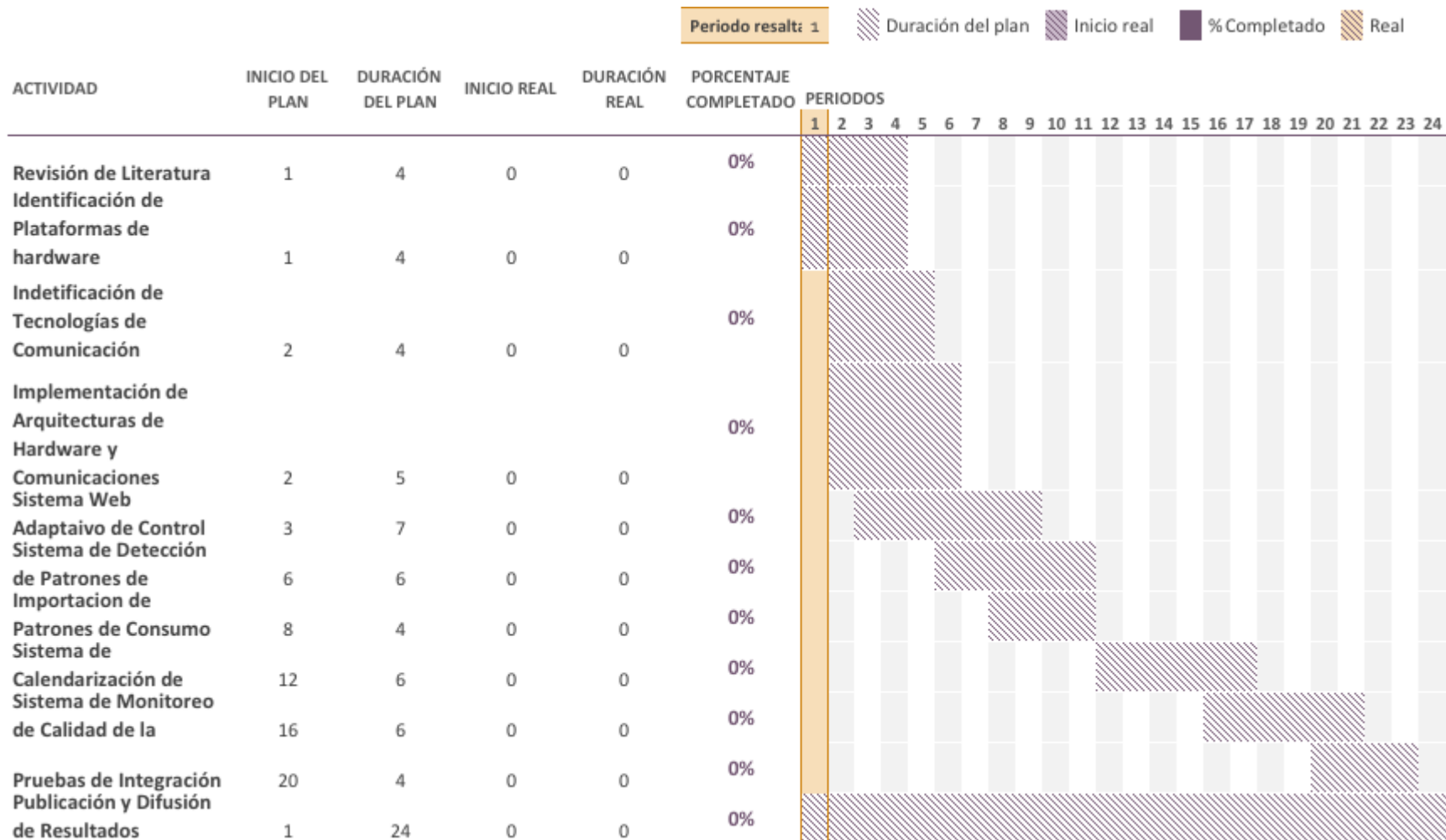


Figura 40 Diagrama de Gantt del Proyecto

Bibliografia

- [1] N. Jazdi, "Cyber physical systems in the context of Industry 4.0," 2014 IEEE International Conference on Automation, Quality and Testing, Robotics, Cluj-Napoca, 2014, pp. 1-4. doi: 10.1109/AQTR.2014.6857843
- [2] H. Farhangi, "The path of the smart grid," in IEEE Power and Energy Magazine, vol. 8, no. 1, pp. 18-28, January-February 2010. doi: 10.1109/MPE.2009.934876
- [3] W. Fungsirirut and W. Benjapolakul, "A study on energy reduction based on responsive behavior of users," 2017 14th International Conference on Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology (ECTI-CON), Phuket, 2017, pp. 580-583. doi: 10.1109/ECTICon.2017.8096304
- [4] R. Aouami, M. Rifi and M. Ouzzif, "Improve the energy efficiency in wireless sensor networks fountain code theory," 2017 8th IEEE Annual Information Technology, Electronics and Mobile Communication Conference (IEMCON), Vancouver, BC, Canada, 2017, pp. 582-587. doi: 10.1109/IEMCON.2017.8117141
- [5] L. Arsov, S. Mircevski, I. Iljazi, I. Arsova and M. Cundeva, "Energy efficiency of the new household appliances," 2013 15th European Conference on Power Electronics and Applications (EPE), Lille, 2013, pp. 1-9. doi: 10.1109/EPE.2013.6634400
- [6] H. H. Masjuki, T. M. I. Mahlia, I. A. Choudhury and R. Saidur, "A literature review on energy efficiency standards and labels for household electrical appliances," 2000 TENCON Proceedings. Intelligent Systems and Technologies for the New Millennium (Cat. No.00CH37119), Kuala Lumpur, 2000, pp. 103-107 vol.2. doi: 10.1109/TENCON.2000.888399
- [7] T. Y. Ku, W. K. Park and H. Choi, "Hybrid Energy Management System for Community Energy System Facilities," 2017 IEEE International Conference on Smart Cloud (SmartCloud), New York City, NY, USA, 2017, pp. 98-102. doi: 10.1109/SmartCloud.2017.22
- [8] Jessica Stromback, et al. (2011), "The potential of smart meter enabled programs to increase energy and systems efficiency: a mass pilot comparison"
- [9] H. Sayadi, N. Patel, A. Sasan and H. Homayoun, "Machine Learning-Based Approaches for Energy-Efficiency Prediction and Scheduling in Composite Cores Architectures," 2017 IEEE International Conference on Computer Design (ICCD), Boston, MA, USA, 2017, pp. 129-136. doi: 10.1109/ICCD.2017.28

[10] M. Weiss, A. Helfenstein, F. Mattern and T. Staake, "Leveraging smart meter data to recognize home appliances," 2012 IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications, Lugano, 2012, pp. 190-197. doi: 10.1109/PerCom.2012.6199866

[11] Nivardy Marin, et. al. (2017). "ESTUDIO COMPARATIVO DE DISPOSITIVOS DIGITALES PARA EL MANEJO DE BASES DE DATOS EMPOTRADAS Y APLICACIONES PARA SMART METERS", Memorias del Congreso Academia Journals 2017, Celaya, Guanajuato, México. ISBN: 978-1-939982.

[12] Manual Aranda, et al. (2016). "Análisis de Algoritmos y Protocolos de Comunicación en Dispositivos Smart Meters (Medidores Inteligentes)". Coloquio de Investigación Multidisciplinaria 2016. Orizaba, Veracruz, México. ISSN: 2007-8102.

[13] Xavier Arroyo, et al. (2017). Estudio comparativo de protocolos de comunicación de banda estrecha en líneas de potencia". Memorias del Congreso Academia Journals 2017, Celaya, Guanajuato, México. ISBN: 978-1-939982.

[14] D. m. Han and J. h. Lim, "Smart home energy management system using IEEE 802.15.4 and zigbee," in IEEE Transactions on Consumer Electronics, vol. 56, no. 3, pp. 1403-1410, Aug. 2010. bdoi: 10.1109/TCE.2010.5606276

[15] V. Barnes, T. K. Collins and G. A. Mills, "Design and implementation of home energy and power management and control system," 2017 IEEE 60th International Midwest Symposium on Circuits and Systems (MWSCAS), Boston, MA, 2017, pp. 241-244. doi: 10.1109/MWSCAS.2017.8052905

[16] O. Elma and U. S. Selamoğullar, "A survey of a residential load profile for demand side management systems," 2017 IEEE International Conference on Smart Energy Grid Engineering (SEGE), Oshawa, ON, 2017, pp. 85-89. doi: 10.1109/SEGE.2017.8052781

[17] J. Yue, Z. Hu, C. Li, J. C. Vasquez and J. M. Guerrero, "Optimization scheduling in intelligent Energy Management System for the DC residential distribution system," 2017 IEEE Second International Conference on DC Microgrids (ICDCM), Nuremburg, 2017, pp. 558-563. doi: 10.1109/ICDCM.2017.8001102

[18] E. J. Palacios-Garcia et al., "Using smart meters data for energy management operations and power quality monitoring in a microgrid," 2017 IEEE 26th International Symposium on Industrial Electronics (ISIE), Edinburgh, 2017, pp. 1725-1731. doi: 10.1109/ISIE.2017.8001508

[19] Departamento de Energía de los Estados Unidos de América (2016). "How Much Can You REALLY Save with Energy Efficient Improvements?". Disponible en: <https://energy.gov/energysaver/articles/how-much-can-you-really-save-energy-efficient-improvements> Fecha de última consulta: 15 de noviembre de 2017

[20] Departamento de Energía de los Estados Unidos de América (2016). "Reducing Electricity Use and Costs". Disponible en: <https://energy.gov/energysaver/reducing-electricity-use-and-costs> Fecha de última consulta: 15 de noviembre de 2017

[21] Sin autor (2008) "Interesting Energy Facts" <http://interestingenergyfacts.blogspot.mx/2008/03/coal-facts.html> Fecha de última consulta: 16 de noviembre de 2017.

[22] Clark W. Gellings (2009). "The Smart grid: enabling energy efficiency and demand response". Fairmont Press, Estados Unidos.

[23] "Smart grids and meters - European Commission."

[24] L. Olmos, S. Ruester, S. Liong, and J. Glachant, "Energy efficiency actions related to the rollout of smart meters for small consumers, application to the Austrian system," Energy, vol. 36, no. 7, pp. 4396–4409, 2011.

[25] G. M. Insights, "Global Market Insights," pp. 2017–2024, 2017.

[26] P. Shenoy, K. Fu, E. Cecchet, and D. Irwin, "Private Memoirs of a Smart Meter," pp. 61–66.

[27] E. S. Trust and C. Change, "Smart Metering Energy Efficiency Advice Project," no. January, 2017.

[28] International Telecommunication Union, "Deliverable on Requirements of communication for smart grid," pp. 1-81, 2011.

[12] National Institute of Standards and Technologies, NIST Framework and Roadmap for Smart Grid Interoperability Standards, Release 1.0, 2010, vol. Publication.

[30] R. H. L. Rodríguez and R. H. G. Céspedes, "Challenges of Advanced Metering Infrastructure Implementation in Colombia", in 2011 IEEE PES Conference on Innovative Smart Grid Technologies (ISGT Latin America), 2011, pp. 1-7.

[31] G. N. Ericsson, "Cyber Security and Power System Communication Essential Parts of a Smart Grid Infrastructure" IEEE Transactions on Power Delivery, vol. 25, no. 3, pp. 1501-1507, 2010.

[32] Comisión Federal de Electricidad (CFE). Sitio web: <http://www.cfe.gob.mx> consultado 20 de noviembre de 2017.

[33] Erick Vázquez Gallegos (2015). "Diseño, Construcción y Desarrollo de un Sistema de Monitoreo Eléctrico con Interfaz Web". Instituto Politécnico Nacional (IPN), ESIME Unidad Zacatenco. Tesis para obtener el grado de Ingeniero en Comunicaciones y Electrónica.

[34] CENTRO DE INFORMACIÓN TECNOLÓGICA Y APOYO A LA GESTIÓN DE LA PROPIEDAD INDUSTRIAL (CIGEPI) (2016), "MEDICIÓN Y GESTIÓN INTELIGENTE DE CONSUMO ELÉCTRICO", Colombia.

[35] DAVID SALAZAR RANGEL y OMAR BARRUETA GALLARDO (2015). "PROPUESTA DE UNA METODOLOGÍA DE OPTIMIZACIÓN DE LA FACTURACIÓN ELÉCTRICA". Tesis. UNAM. México

[36] Uhlaner, Robert, Humayun Tai, and Brandon Davito. "The Smart Grid and the promise of demandside managment." Edited by McKinsey and Company. McKinsey on Smart Grid, Enero 2010: 38-44. [https://www.mckinsey.com/~media/mckinsey/dotcom/client_service/EPNG/PDFs/McK% 20on%20smart%20grids/MoSG_DSM_VF.ashx](https://www.mckinsey.com/~media/mckinsey/dotcom/client_service/EPNG/PDFs/McK%20on%20smart%20grids/MoSG_DSM_VF.ashx)

[37] International Energy Agency (2017). <https://www.iea.org/> Fecha de última consulta: 20 de noviembre de 2017.

[38] Comisión Reguladora de Energía (2017). <https://www.gob.mx/cre> Fecha de última consulta: 20 de noviembre de 2017.

[39] Lorena Cristina Delgado Andrade (2014), "DISEÑO DE UNA ALTERNATIVA ECONÓMICA PARA LA AUTOMATIZACIÓN DEL PROCESO DE LECTURA DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA". Tesis de la Universidad de Cuenca. Ecuador.

[40] Rojas-González Isaí, Galván-Bobadilla Israel, Camacho-Pérez Salvador, "Seguridad informática para redes inteligentes (smart grid)", Boletín IIE octubre-diciembre 2012, (2012), pp. 163-164.

[41] F.A. Elizalde Canales, I.J. Rivas Cambero, A.M. Godinez Jarillo, E. Cortes Palma, "Vulnerabilidad en los Sistemas de Medición Inteligente", XII Encuentro Participación de la Mujer en la Ciencia, León, Guanajuato, México, 13 al 15 de mayo de 2015, (2015)