



Universidad del Azuay

Facultad de Ciencia y Tecnología

Escuela de Ingeniería Electrónica

**INFRAESTRUCTURA DE MEDICIÓN AVANZADA EN LAS REDES
INTELIGENTES**

Trabajo de graduación previo a la obtención del título de
Ingeniero Electrónico

Autor:

Diego Patricio Narvárez García

Director:

Eduardo Rodrigo Sempértegui Cañizares

Cuenca, Ecuador

2013

DEDICATORIA:

Esta monografía está dedicada a Dios por haberme dado sabiduría, fuerzas para lograr ciertas metas que se han presentado en el camino, permitirme encontrar personas que han sabido llenar mi vida y ser un gran apoyo dentro de mi formación y vida personal.

A mi familia en general, especialmente a mis padres y hermanos que han soportado mis tropiezos y malos ratos, siempre han sabido desde el hogar enseñarme con vivencias y consejos la manera de hacer lo correcto e insistir en las metas que nos proponemos, es por eso que esta monografía es fruto de un hogar con principios y unidad que Dios me ha brindado.

AGRADECIMIENTO:

Le doy gracias a Dios y a mis padres, Juan y Luz, que siempre han estado para apoyarme sin esperar nada mas que gratitud, que me han permitido aprovechar las oportunidades que la vida pone en mi camino.

A mis amigos y hermanos que son parte de mi desarrollo como persona y ahora como profesional, gracias por estar siempre a mi lado dandome una mano para seguir adelante, especialmente mi hermano William que has sido un gran ejemplo a seguir, gracias por tu apoyo incondicional.

En general a todos muchas gracias y espero retribuir de alguna manera el apoyo que me han brindado.



RESUMEN:

Para analizar los parámetros necesarios de la Infraestructura de Medición Avanzada (AMI, en inglés, Advanced Metering Infrastructure) que contiene una red inteligente de distribución eléctrica (SG, en inglés, Smart Grid) se realizó el análisis y revisión de información sus elementos, tales como, los medidores avanzados, sistemas de comunicación para dispositivos, redes, y protocolos de comunicación, siendo estos elementales para la recopilación, almacenamiento y gestión de la energía circulante en la red eléctrica. Con esta información se pudo constatar la estabilidad y eficiencia de una AMI. Concluyendo con la revisión de ventajas y desventajas de las SG con respecto a su eficiencia y al uso de generación de energía eléctrica con fuentes alternativas.

Palabras Clave: Rede de distribución inteligente, Medición avanzada, Infraestructura, Fuentes generadoras, Distribución eléctrica.



Director de Escuela

Ing. Francisco Vázquez



Director de Tesis

Ing. Eduardo Sempértugi



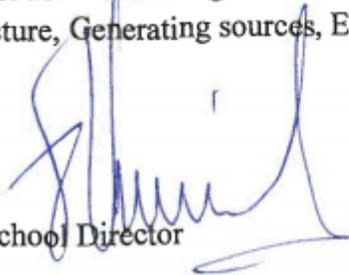
Alumno

Diego Narváez

ABSTRACT

In order to analyze the parameters of Advanced Metering Infrastructure (AMI), which contains a smart grid of electric distribution (SG), we carried out the analysis and revision of its elements such as advanced measurement, communication device systems, networks, and communication protocols, which are elements for compilation, storage, and management of the electric grid's circulating energy. With this information we were able to verify the stability and efficiency of AMI. We concluded with the review of the advantages and disadvantages of SG regarding its efficiency and the generation of electric energy with alternative sources.

Key words: smart grid distribution, advanced measurement, infrastructure, Generating sources, Electric distribution



School Director
Ing. Francisco Vazquez



Thesis Director
Ing. Eduardo Sempertegui



Student
Diego Narvaez



Translated by,
Diana Lee Rodas

INDICE DE CONTENIDOS

DEDICATORIA:.....	II
AGRADECIMIENTO:	III
INDICE DE CONTENIDOS.....	VI
INDICE DE FIGURAS.....	VIII
INDICE DE TABLAS	IX
INTRODUCCIÓN.....	1

CAPITULO 1: REDES DE DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICA

1.1 GENERALIDADES.	3
1.2 REDES INTELIGENTES	6
1.2.1 Características de una red inteligente.	7
1.3 COMPLEMENTOS DE UNA RED INTELIGENTE (SMART GRIDSG).	9
1.3.1 Infraestructura de Medición Avanzada.....	9
1.3.2 Sistema de Adquisición, Supervisión y Control de Datos (SCADA).....	9
1.3.3 Generación Distribuida	10
1.4 CAPACIDAD DE TAREAS QUE CUMPLE UNA SG.....	10

CAPITULO 2: INFRAESTRUCTURA DE MEDICIÓN AVANZADA (AMI)

2.1 INTEROPERABILIDAD E INTERCONECTIVIDAD EN LOS SISTEMAS AMI[2].....	12
2.2 ELEMENTOS Y ARQUITECTURA DE UNA AMI.....	13
2.2.1 Medición inteligente[5].....	14

2.2.2	Esquema de medición inteligente	14
2.3	ESTRUCTURA DE COMUNICACIONES DE TECNOLOGÍAS AMI.....	17
2.3.1	Arquitecturas de comunicaciones que pueden ser implementadas en las AMI[8].....	19
2.3.2	Cyber seguridad en las AMI.....	20

CAPITULO 3: EVOLUCIÓN DE LAS SMART GRID – SG

3.1	ESTÁNDARES PARA SISTEMAS AMI.	22
3.2	IMPACTO DE LAS SG SOBRE LAS EMPRESAS DE DISTRIBUCIÓN Y EL CLIENTE CONSUMIDOR.	24
3.3	RETOS DE UNA SG.....	28
	CONCLUSIONES:	31
	RECOMENDACIONES:.....	33
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS:.....	34

INDICE DE FIGURAS

Figura 1 Esquema de transporte y distribución de la energía eléctrica.....	_4
Figura2 Elementos principales de una red de distribución.....	_5
Figura3 Elementos que constituyen una red inteligente	_8
Figura4 Servicios y elementos de una red inteligente.....	_11
Figura5 Elementos para medición inteligente	_15
Figura 6 Cargas de un hogar	_16
Figura 7 Red de comunicaciones.....	_17
Figura 8 Tecnología de comunicaciones en la red	_18
Figura 9 Propósitos de una SG.....	_29

INDICE DE TABLAS

Tabla 1 Estándares para comunicaciones	_24
Tabla2 Impacto a nivel de transmisión	_26
Tabla3 Impacto a nivel de distribución	_27
Tabla4 Impacto a nivel de integración del cliente.....	_28

Narváez García Diego Patricio

Trabajo de Grado

Ing. Eduardo Sempértegui

Julio 2013

INFRAESTRUCTURA DE MEDICIÓN AVANZADA EN LAS REDES INTELIGENTES

INTRODUCCIÓN

En la actualidad se ha logrado generar energía eléctrica de diferentes maneras para brindar este insumo energético a comunidades, por más alejadas que estas se encuentren. Sin embargo para la distribución de la energía eléctrica debemos disponer de una red que brinde un servicio de calidad y que pueda estar en la capacidad de regenerarse instantáneamente en caso de eventos inesperados, lo cual todavía no disponemos en las redes de distribución de nuestro país. Además, tomando en cuenta las empresas distribuidoras como los entes responsables de la distribución, control, facturación entre otros, con la actual infraestructura de la red eléctrica implementada el país, le es difícil constatar inmediatamente desde una base de datos o una central que se esté cumpliendo correctamente las normativas que se establecen a cada abonado al momento de ser dotado de este servicio.

Por lo tanto, con este déficit de cualidades en la red eléctrica, mucho menos estará en la capacidad para realizar monitoreo, control y manipulación de parámetros de la red, como podría ser una comparación de la carga de los transformadores con los consumos de los abonados, la desconexión de cargas de una vivienda ó industria que innecesariamente se encuentren en uso a

determinadas horas, para operaciones más complicadas como permitir la conexión o desconexión de puntos de generación eléctrica a la red.

En la actualidad el avance de la tecnología nos impulsa a implementar sistemas estables para control y monitoreo de redes energéticas, actualmente denominadas Redes inteligentes (**SG, por sus siglas en inglés Smart Grid**), estas están conformadas por sistemas de medición avanzada y a su vez por medidores avanzados que nos permite ampliar la perspectiva de las particularidades que se podría brindar a una red eléctrica. Debemos tomar en cuenta que es una tecnología que todavía no ha sido implementada en nuestro país, pero viendo los resultados obtenidos en países desarrollados como optimización y mayor calidad en las redes eléctricas sabemos que al implementar una SG dejaremos de desperdiciar recursos que podrán ser utilizados en las industrias y hogares del país.

De esta manera se podrá lograr un ahorro energético en las plantas generadoras, evitando la quema de hidrocarburos en ciertos casos para la producción de electricidad, e impulsando al uso de energías alternativas como son la energía fotovoltaica y la energía eólica principalmente, ya que tienen un buen desempeño dentro de las SG, ayudando a ser más eficiente a la red, inyectando energía limpia a la red. Siendo los beneficiarios las empresas de generación al no sobrecargarse y ser lo suficientemente capaces de proveer energía suficiente ya que en la actualidad se sufre por déficit energético durante ciertas épocas del año, así como también será beneficiado el abonado al no tener que pagar energía que no ha consumido.

Logrando tener un control de todos los parámetros y obtener un cuadro en tiempo real que ayudará a tener un consumo moderado de parte de los abonados y saber cuándo es necesario conectar o desconectar las generadoras que suministran energía a la red.

CAPÍTULO 1

REDES DE DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICA

1.1 Generalidades

La red eléctrica nos permite interconectar a las centrales generadoras o desconectar a las mismas de dicha red, según sea el requerimiento energético de los abonados conectados a la red eléctrica. Por lo tanto para completar el proceso de transmisión eléctrica hasta cada abonado, se procede a realizar una infraestructura jerárquica de manera robusta en base a la oferta y demanda energética del medio, siendo ésta una red expansiva que incorpora muchas áreas donde se distribuye la energía.

El modelo de la red de distribución de la energía eléctrica será la prioridad para el desarrollo de la presente monografía, para lo cual es necesario saber la manera en la que está constituido el sistema energético.

En la Figura 1 se puede diferenciar las diferentes etapas necesarias para lograr obtener la energía eléctrica desde la generación hasta el predio de cada abonado, tomando en cuenta que las necesidades en cada caso siempre no serán las mismas.

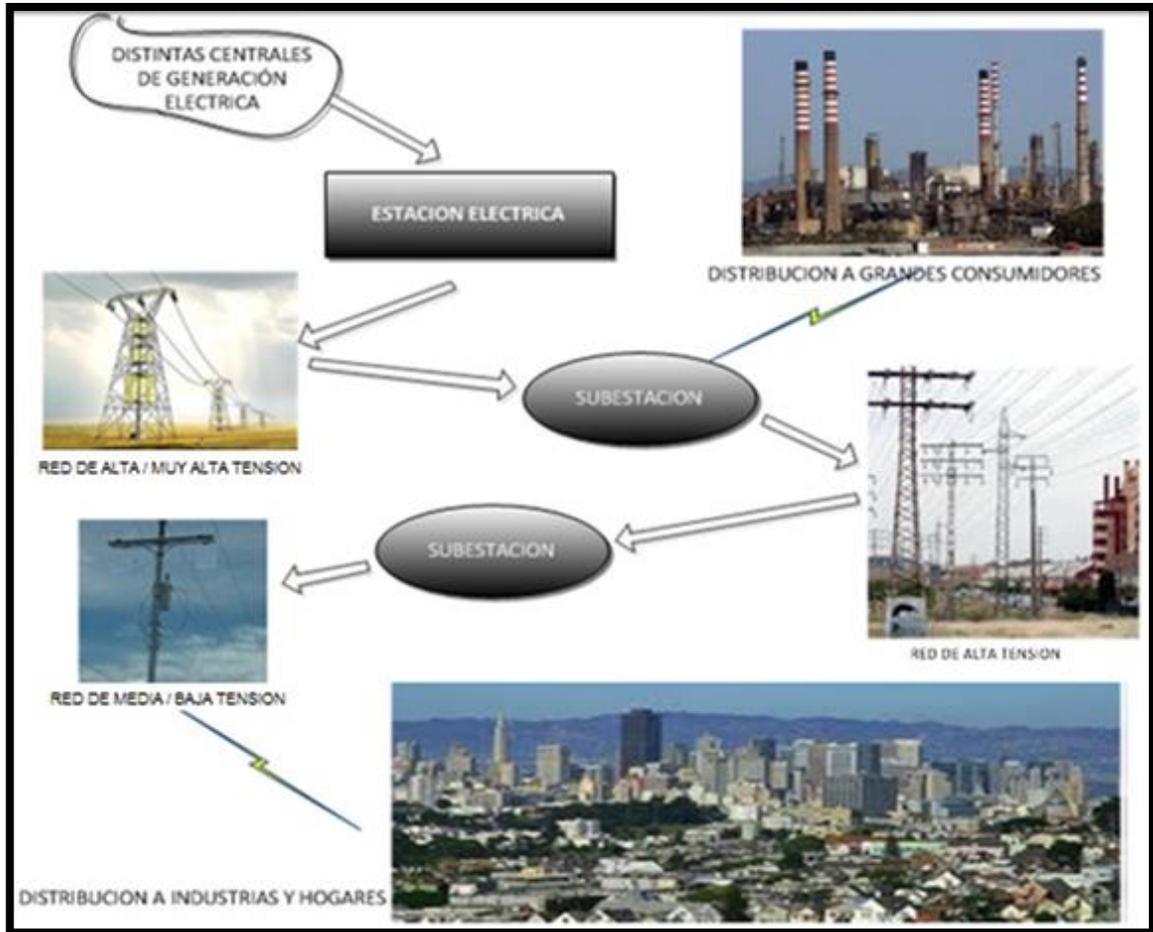


Figura 1. Esquema de transporte y distribución de la energía eléctrica.

En la actualidad disponemos de una red eléctrica convencional, la cual nos permite disponer del servicio sin mayores comodidades de control o ahorro energético, la red de distribución está dimensionada para proporcionar el suministro desde la subestación de distribución hasta los usuarios finales.

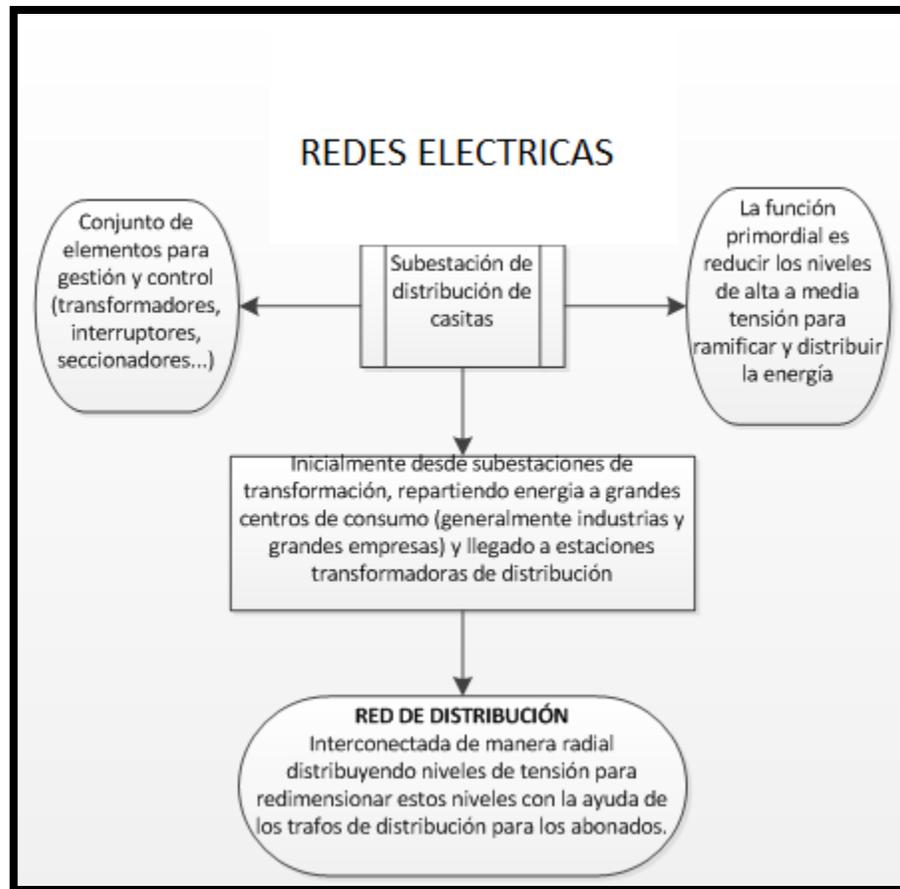


Figura 2. Elementos principales de una red de distribución.

En la Figura 2 nos muestra los pasos que se debe tomar en cuenta para realizar la distribución eléctrica a los abonados. Esto se da tanto en una red convencional como en una red inteligente.

Como conclusión, en las redes convencionales se muestran los aspectos principales que causan inestabilidad en las redes convencionales de distribución eléctrica:

- No se puede tener grandes reservas de la energía generada, y a su vez no siempre habrá sincronización entre la generación y consumo de energía eléctrica, lo cual produce inestabilidad en la red.

- La energía al transmitir y variar las magnitudes de niveles de voltaje, genera disipación de calor, lo cual produce pérdidas dentro de la red.
- No se puede gestionar de manera inmediata soluciones previstas, sino al momento de la falla se procede a improvisar una solución quizá no muy conveniente en ciertos casos.

1.2 Redes Inteligentes

El esquema convencional de distribución muestra a las plantas generadoras como únicas fuentes de alimentación a la red, de manera unidireccional, abasteciendo desde las plantas generadoras a los usuarios del servicio eléctrico. Ante esta estructura de redes de distribución ha surgido un nuevo modelo de generación y distribución de energía eléctrica que permite interacción con la red, dando la posibilidad de que los abonados puedan tener mayores servicios y los distribuidores una mayor posibilidad de controlar el comportamiento y posibles eventos inesperados en la red. Tomando en cuenta las características que cumplen las redes inteligentes se plantea una comunicación bidireccional en la red eléctrica, donde el usuario y la empresa que brinda los servicios de gestión y distribución de la energía eléctrica puedan tener comunicación directa desde una central hacia todos los abonados, teniendo acceso en tiempo real a procesos de control de la energía en los domicilios de los abonados,

Además del acceso a los abonados, el centro de control tiene la capacidad de gestionar nuevos ingresos de energía producida ya sea por generadoras hidroeléctricas o generadoras que hacen uso de energías alternativas para producir electricidad, incentivando a los usuarios a generar su propia energía, la cual si no es utilizada en su totalidad, puede ser inyectada a la red de distribución.

Por lo tanto concluimos que una red inteligente tiene la infraestructura capaz de realizar un cambio positivo en el futuro, dentro del suministro de energía eléctrica en una sociedad, mejorando notablemente la eficiencia de la red

eléctrica al cumplir con mayores características que una red de distribución convencional[1].

1.2.1 Características de una red inteligente

Las principales características que una red inteligente debe cumplir son[2]:

- Constan de un sistema bidireccional de comunicación para control de procesos, por lo tanto un sistema de seguridad robusto que impida fraudes por un sistema inestable.
- Los abonados tendrán la opción de generar su propia energía para su consumo (cualquier manera de generación posible; de preferencia energías renovables que ayudan a la sostenibilidad del medio ambiente) autoabasteciendo sus necesidades y consumiendo lo mínimo de la red de distribución.
- Medidores inteligentes que indican de manera ininterrumpida el comportamiento de consumo de energía durante las veinte y cuatro horas, y en el caso que tenga una pequeña planta de generación, el medidor indicará los valores de energía inyectada a la red.
- La red debe estar implementada con sensores, actuadores, procesadores inteligentes y software, para poder acceder a la red de manera remota, pudiendo ver el comportamiento en tiempo real de la red, conociendo la demanda de las subestaciones de transmisión hasta poder saber cuánta energía está consumiendo un abonado. De esta manera se puede re-direccionar energía a lugares donde la red este sufriendo un déficit energético. Todos estos procesos se los pueden hacer de manera remota, siempre y cuando cuente con este tipo de infraestructura.

Con esta caracterización de este modelo de redes, se puede ver que resulta ser una red más flexible y robusta que una red convencional ya que se encuentra en la capacidad de adaptarse a cualquier medio para abastecer de manera precisa la demanda de los usuarios, siempre tomando en cuenta que los abonados tendrán diferentes necesidades para su consumo, evitando sobrecargas o déficit energético en la red.

Además podemos mediante software controlar el tipo de cargas que puede utilizar el abonado a cualquier hora del día, haciendo un uso más dedicado de la energía eléctrica utilizada en cada predio, esto en el caso de países que disponen de este tipo de infraestructura y aprovechan esto para tener una tarifa diferencial que hace que el costo del kilovatio- hora (kWH) varíe durante el transcurso del día.

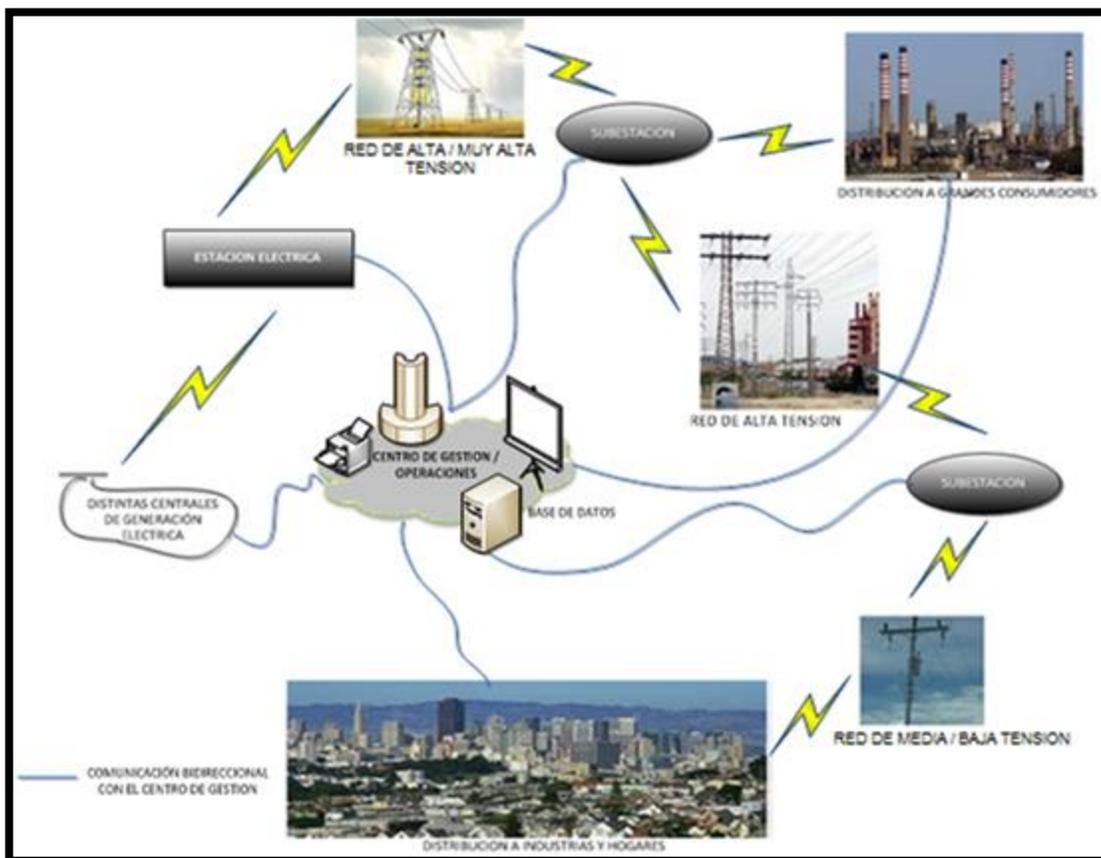


Figura 3. Elementos de una red inteligente

La figura 3 muestra la distribución de los elementos existentes para la distribución de energía eléctrica en una Red Inteligente (SG), además se puede apreciar la característica principal de una SG que tiene la comunicación bidireccional con el centro de gestión, logrando de esta manera una mayor estabilidad y respuesta inmediata a eventos inesperados que el centro de gestión maneja.

1.3 Complementos de una Red Inteligente (Smart GridSG)

Para el buen desempeño de una SG es necesario contar con gestores que complementen las operaciones y manejos de la distribución de la energía eléctrica dentro de la red. Acciones que tendrán gran importancia para mantener la red

1.3.1 Infraestructura de Medición Avanzada

La Red Inteligente como su nombre lo dice, debe contar con un proceso que le permita realizar operaciones en tiempo real, como saber el estado de la red, energía que circula, energía que cada abonado consume, etc. Por lo que cuenta con una infraestructura de medición avanzada (AMI) que a su vez cuenta con elementos que ayudan a mantener confiable la información de la medición de energía y la comunicación de centro de gestión con cada abonado en tiempo real.

1.3.2 Sistema de Adquisición, Supervisión y Control de Datos (SCADA)

El sistema provee todo tipo de información generada al nivel de usuario y la red, este sistema trabaja bajo un software creando una Interfaz Maquina Hombre (HMI) para controlar diversos dispositivos que a su vez estén controlando la red, pero interconectados con el sistema SCADA, obteniendo suficiente información de las actividades de los procesos ocurridos dentro de la red.

1.3.3 Generación Distribuida

Este tipo de generación distribuida (GD) se conecta principalmente a las redes de distribución o en las instalaciones de los consumidores, incentivando al uso y producción de energía eléctrica de fuentes alternativas como son las energías renovables. Ayuda a la red en el caso de desabastecimiento de energía. Tomando en cuenta que la SG está en la capacidad de integrar estas generadoras sin riesgo de causar inestabilidad en la red al momento de la conexión o desconexión de GD. Como por ejemplo huecos, picos de tensión o desconexiones de la red.

1.4 Capacidad de tareas que cumple una SG

Una SG al ser un sistema avanzado, tiene mayores características y operaciones por cumplir, ya que consta de sistemas de comunicación, elementos de medición, un software que la vuelve capaz de reaccionar ante cualquier eventualidad, y, además una gran capacidad para prestar servicios en tiempo real a los abonados, cualquiera de los tres diferentes tipos de usuarios. La división de usuarios queda constituida en hogares, edificios o urbanizaciones y finalmente las industrias, todos estos subdivididos según la cantidad de energía promedio consumida.



Figura 4. Servicios y elementos de una red inteligente

Con la diversidad de tecnología implementada se logra una red eficiente y estable que no bloquea el avance de la red, haciendo fácil la expansión para nuevos abonados, con igual calidad y características. Concluyendo que una SG tiene la capacidad de expandirse y crecer tecnológicamente.

CAPÍTULO 2

Infraestructura de Medición Avanzada (AMI)

La estructura de medición avanzada (AMI, por sus siglas en inglés Advanced Metering Infrastructure) ayuda a fortalecer la red eléctrica. Maneja de manera eficiente los datos obtenidos por instrumentos de medición, por lo tanto se debe tomar en cuenta que una AMI consta de una variedad de hardware y software necesarios para una correcta implementación dentro de una SG[3].

En la actualidad se tienen estructuras de medición avanzadas implementadas dentro de los hogares por confort de los habitantes, La domótica ha sido el campo de mayor desarrollo de sistemas o infraestructuras de medición avanzada, lo cual en una SG se pretende integrar a gran escala y con mayor inversión en tecnología.

2.1 Interoperabilidad e interconectividad en los sistemas AMI[2]

Cuando se comparan las SG con las redes convencionales grandes características de instrumentación y estructura son las que las diferencian, pero aun así existen dificultades dentro de las AMI, que son un gran complemento de las SGs, para el correcto funcionamiento de un sistema es necesario que exista compatibilidad entre los elementos que constituyen un sistema, o en este caso la AMI. Estableciendo estándares de comunicación independiente a los del fabricante de los elementos.

En cuanto a la interconectividad, se debe tomar en cuenta la instalación de dispositivos que soportan una gran capacidad de funciones a lo largo del tendido de la red, logrando satisfacer la comunicación tanto del centro de

gestión como de los abonados. Pantallas para controlar el abastecimiento y el consumo de un abonado.

Para mejorar los servicios prestados por la distribuidora a los abonados es necesario crear plataformas de fácil acceso y manejo, con opciones de servicios inmediatos como facturación, corte y reconexión de suministro de energía, tanto por falta de pago como por petición del usuario, información de consumo e información general que incentive al usuario a hacer un mejor uso de la energía que consume, evitando desperdicios o pérdidas innecesarias.

2.2 Elementos y arquitectura de una AMI

En la red eléctrica una acción primordial es realizar la medición de la energía que cada abonado consume de la red o inyecta a la red, para obtener una base de datos donde se puedan generar las planillas de consumo energético. Este proceso de medición se lo ha logrado realizar mediante contadores de energía inteligentes. Estos contadores o más conocidos como medidores, en un principio solo analógicos, se encuentran instalados en la acometida de la red eléctrica en las viviendas, comercios, industrias y talleres de los abonados, midiendo constantemente su energía consumida.

En una red eléctrica convencional, el proceso para recopilar la información del consumo energético de los medidores de cada usuario, es necesario recorrer todas las instalaciones de los abonados que cuentan con el servicio eléctrico, por los cuales un operador pasa recolectando los valores de la lectura del medidor mediante registro manual, luego genera una base de datos virtual y emite las planillas de consumo a los diferentes usuarios[4].

El desarrollo de la tecnología muestra grandes logros dentro de la electrónica y electricidad que ha logrado crear instrumentos y procesos de medición eficientes que aportan a las nuevas redes inteligentes de transmisión eléctrica,

2.2.1 Medición inteligente[5]

Para realizar un proceso de medición inteligente se requieren equipos confiables y robustos, que siempre estén recolectando y enviando información.

En las redes inteligentes se cuenta con medidores robustos, eficientes y confiables, los cuales permiten al operador a revisar en tiempo real el estado de las cargas que estén conectadas a ese medidor, permitiendo al operador tomar decisiones inmediatas si se encuentra alguna anomalía o mal uso de la energía dentro de la red, así sea el caso de simplemente un abonado, ya que estos medidores constan de un módulo de conmutación controlado a distancia. Todas estas acciones son capaces de manejarlas en tiempo real, las mismas que son visualizadas en el centro de gestión, que es donde se tiene una base de datos del consumo energético de cada abonado que está consumiendo energía de la SG, así como del comportamiento de toda la SG, ayudando a prevenir eventos no deseados dentro de la red.

Además de este tipo de medidores, el sistema de medición inteligente consta de una estructura con más componentes, la cual marca un proceso en el manejo de la información recolectada por los medidores inteligentes (MI) hasta llegar a la base de datos del centro de gestión. Por el avance tecnológico, estos sistemas de medición inteligente no solamente son implementados al consumo eléctrico, además se implementa medición avanzada a todo tipo de servicios en los cuales haya una organización responsable y capaz de abastecer un servicio (bien pudiera ser el servicio de agua potable, gas, internet entre otros) a una red donde cierto número de abonados se encuentran consumiendo de este servicio prestado por esta compañía u organización según fuese el caso[6].

2.2.2 Esquema de medición inteligente

Para lograr obtener un proceso eficiente en una red robusta y estable, es necesario tomar en cuenta la manera en la que se van a jerarquizar los elementos que van a ser asociados dentro de la red. Esta red no es solamente para medición y lectura de información, como se había revisado en la sección 2

de este capítulo, las características de una AMI son más que lectura y medición, por lo que a continuación se muestra una figura que ayuda a explicar el proceso y componentes que intervienen en la medición inteligente.

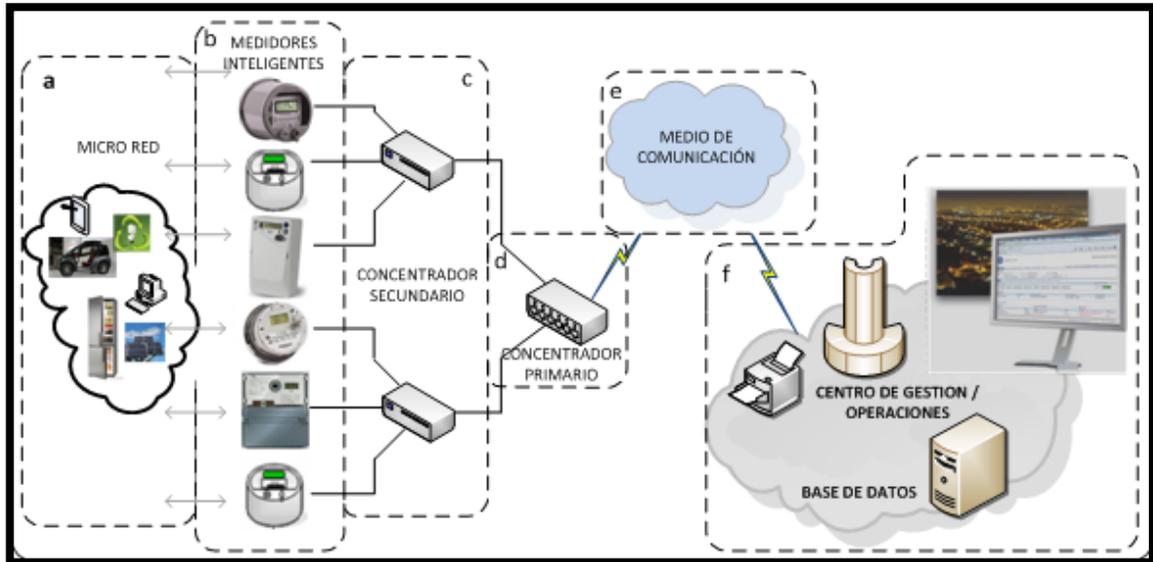


Figura 5. Elementos para medición inteligente.

Para las empresas distribuidoras de energía eléctrica es casi imposible saber las cargas eléctricas que un abonado tiene en su hogar o industria, por lo cual se han limitado a abastecer la energía necesaria a cada abonado. El modelo de una SG plantea a las cargas domiciliarias como una micro red, la cual no es más que un sistema de energía con cargas interconectadas, la misma que funciona en paralelo a la red principal. En las micro redes se puede diferenciar el tipo de cargas que son alimentadas desde la red de distribución. Por lo tanto al tener una micro red, el abonado divide sus cargas de manera ramificada, partiendo del medidor eléctrico existirá mayor facilidad para conexiones y desconexiones controladas por el centro de gestión. Estas operaciones se las realizan con un esquema jerárquico de cargas de la micro red, los nuevos medidores inteligentes tendrán el número de interruptores conmutados necesarios para controlar la conexión o desconexión de cargas según sea el estado de la red principal, manteniendo de esta manera estable a la red.

Dentro de los elementos que la micro red está en capacidad de manejar, se muestra en la figura 5 un ejemplo de los elementos que intervienen en la micro red.

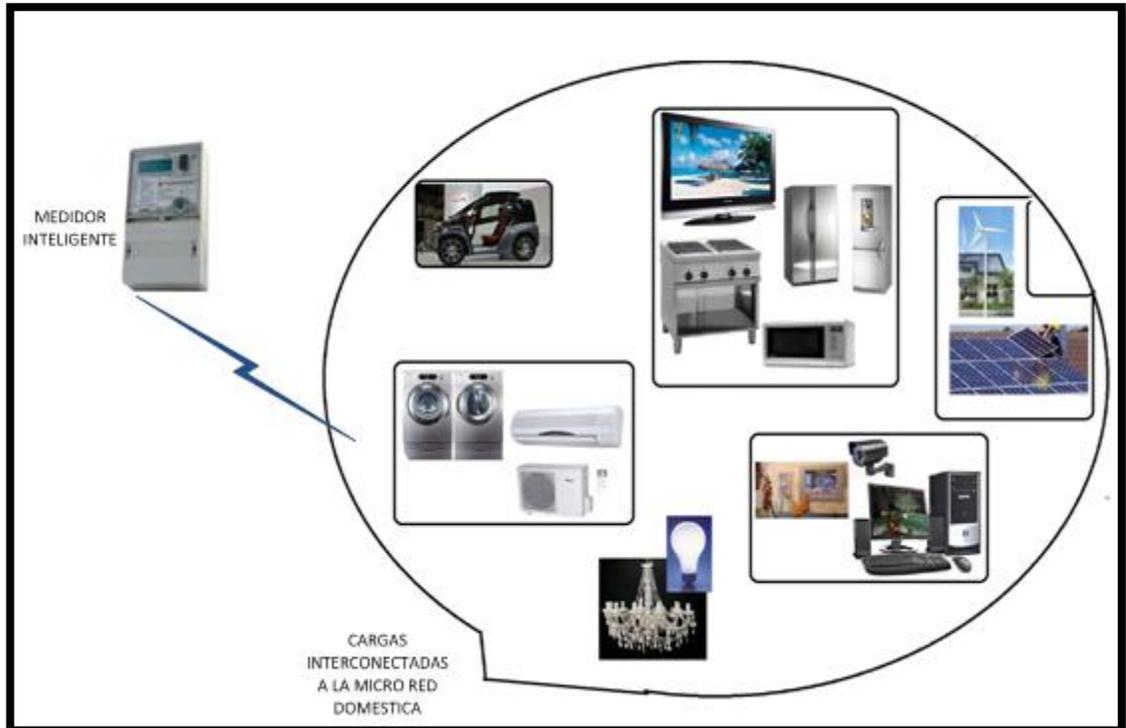


Figura 6. Cargas de un hogar.

En la figura 5 existen diversas cargas que generalmente se ocupan dentro de un hogar, estas tendrán un nivel diferente de operatividad debido a la importancia de uso dentro del hogar, así mismo en el caso de no ser un domicilio, sino una industria, existen componentes que de igual manera tendrán diferente nivel de importancia al operar.

Además de cargas se han colocado ejemplos de generadores alternativos de energía eléctrica que son operados por los abonados, ellos decidirán cuando ocupar la energía que pueden generar, ya que si no es necesario puede utilizarse la energía de la red y seguir almacenando energía en acumuladores para inyectar esa energía a la red o consumirla cuando se crea necesario.

Cada pequeña sección de elementos será controlado por el centro de gestión a través del medidor inteligente.

Existen diferentes tipos de medidores inteligentes(MI) que cubren con las expectativas de una AMI, ya sea para uso domiciliario o industrial, por lo general las partes principales y comunes de los MI's son el display o sección de medición, interruptores conmutados y la unidad de interfaz del medidor (MIU), esta tercera sirve para comunicarse por medio de una interfaz al centro de gestión, enviando y recibiendo la información necesaria para controlar las micro redes. La MIU puede variar según la marca del distribuidor de los MI's, ya que cada fabricante tiene su libertad para comunicarse con cualquier interfaz.

2.3 Estructura de comunicaciones de tecnologías AMI

Una AMI consta de un sistema integrado de comunicaciones, que para distribuir de mejor manera las etapas de comunicación son divididas en cuatro secciones las que se puede diferenciar en la figura 7; Red de casa, Red privada, Red privada externa, Red privada interna empresarial[7]

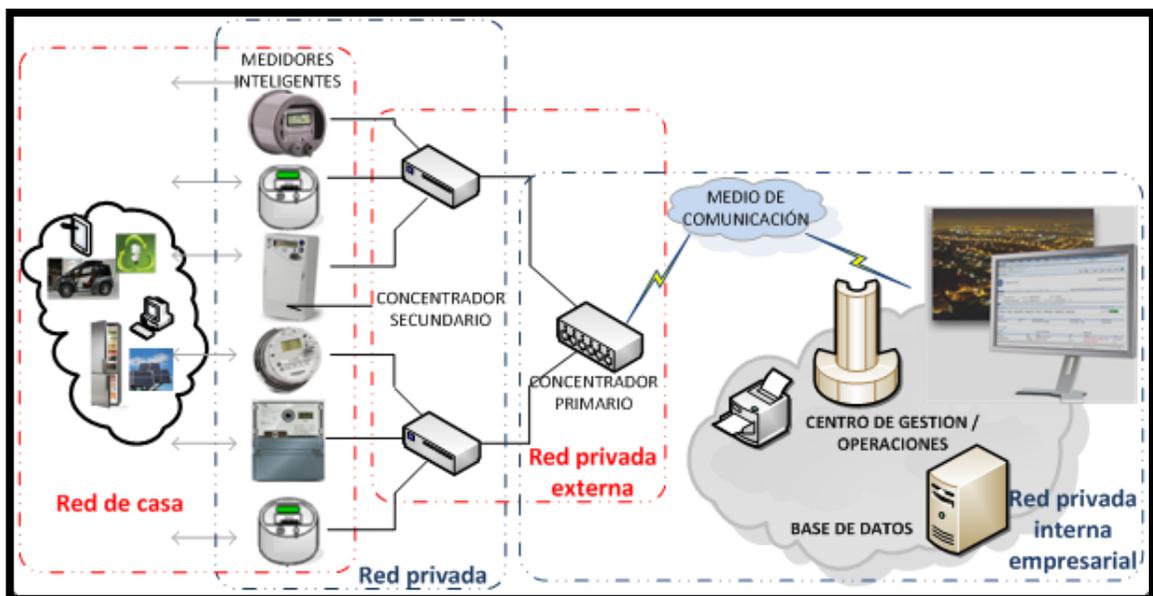


Figura 7. Red de comunicaciones

Permitiendo a los operarios del centro de gestión saber el estado de la red en tiempo real. Para lograr este objetivo se tiene un modelo de comunicación entre las redes de conexión que está compuesta la AMI.

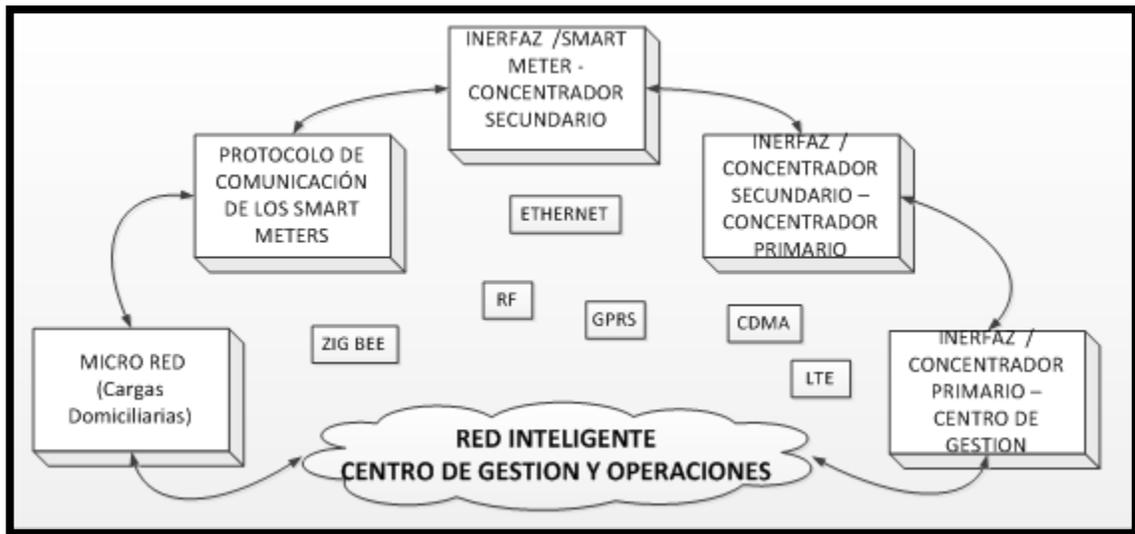


Figura 8. Tecnología de las comunicaciones en la red

Con los avances tecnológicos existen cambios en los sistemas de comunicación que en un principio según las capacidades de transmisión de datos los iba jerarquizando en el más alto eslabón, ahora de igual manera existen estructuras que permiten mayores capacidades y velocidades, por lo que se puede elegir según la necesidad el tipo de comunicación que necesitamos en cada interfaz de comunicación de la SG. Según los interfaces de la SG en cada tramo se necesitan diferentes capacidades para cubrir diferentes demandas de información.

- Red de casa
- Red privada
- Red privada externa
- Red privada interna empresarial

2.3.1 Arquitecturas de comunicaciones que pueden ser implementadas en las AMI[8]

Para obtener eficiencia al momento de comunicar los diferentes elementos de las AMI se han tomado en cuenta las características principales de comunicación, como son, velocidad necesaria, capacidad de información y seguridad que se intercambia en cada etapa de una AMI. Para esto se expone a continuación las principales arquitecturas que han sido diseñadas e implementadas en una SG para brindar servicios al consumidor, como por ejemplo se enumeran los principales protocolos de comunicación que fabricantes de equipos para las SG utilizan para la comunicación de sus elementos: **Zigbee, Ethernet, CDMA, GPRS, LTE**(Long TermEvolution), **Radio Frecuencia, 3G, WiMax.**

Debido al protocolo de comunicación que utiliza cada empresa comercializadora y generadora de estos equipos, existen protocolos normalizados que se deben tomar en cuenta, y considerarcuál es la que brinda mayor flexibilidad para lograr comunicación con elementos que no necesariamente sean de la misma casa comercial, ya que si este fuese el caso y se decide una marca que no permite ampliar la red, esta se volvería limitada y prácticamente inservible para el propósito de una SG[9].

Existen tres principales casas comerciales de esta línea de medidores inteligentes, de las cuales no es difícil realizar un análisis para conocer a simple vista la mejor opción de tecnología que se pueda emplear, ya que es imposible la interoperabilidad entre ellos al ser dueños de su propia tecnología, por lo cual se busca establecer una red AMI con la mayor flexibilidad posible.

Itron, Trilliant y Elster son las principales marcas comercializadoras de estos equipos con diferentes protocolos de comunicación, como radio frecuencia, GPRS o LTE que reemplazará a finales del 2013 en Ecuador a WiMax.

Estos nuevos medidores están incorporados de una tecnología capaz de tener un servicio prepago, corte y reconexión. Para estudios más enfocados al tema

existe el software necesario para simular las aplicaciones mencionadas y verificar el comportamiento de los elementos como son QUALNET o SIRENET. Simulando la cobertura de toda una zona o ciudad como también el tráfico.

La tecnología recomendada para el uso de los elementos para la AMI son los de la casa ELSTER, aquí en esta marca existen varios modelos para zonas residenciales, industrial o comercial. Pero en si todos los modelos son compatibles y la ventaja de esta marca es que brinda flexibilidad para expandir la red.

2.3.2 Cyber seguridad en las AMI

Para un sistema tan importante y robusto como es el de una SG, es necesario implementar seguridad que mantenga alejado a hackers de realizar manipulaciones para desestabilizar la red. En general los requerimientos de seguridad de la SG los enumeramos a continuación:

- **Confidencialidad.-** la privacidad es el principal parámetro para lograr confidencialidad de recursos de una red.
- **Integridad.-** A más de prevenir cambios inoportunos nos sirve para evitar la ejecución de comandos que no esté permitido por cierto personal.
- **Disponibilidad.-** en esta tecnología existe la disponibilidad del operario manejar los elementos de la SG como son los medidores, ahí es donde se requiere la disponibilidad del equipo para acceder a cierto tipo de información o control que se pueda realizar directamente.
- **Aceptación.-** nos permite acceder al perfil del abonado para verificar cuentas, lo cual se puede realizar desde el domicilio del abonado o la central de gestión, por lo tanto siempre se está verificando y sincronizando la información del perfil del abonado con la base de datos.

Esta seguridad es requerida para que solo personal determinado acceda con propósitos no maliciosos a la red, es decir para el personal de gestión, teniendo acceso a la información de la base de datos y control de la red.

CAPÍTULO 3

EVOLUCIÓN DE LAS SMART GRID – SG

Como se ha indicado las características de una red convencional, en este capítulo vamos a ver cambios drásticos de esa misma red al incorporar tecnología que ayudan a la comodidad del abonado y mejor uso de la energía eléctrica, dando paso al crecimiento tecnológico y posible expansión en dimensiones y capacidad de la red eléctrica, por lo cual se hace una revisión de los estándares, impactos y retos que se manejan con una SG.

Para poder implementar una SG en el caso de nuestro país es necesario tener en cuenta que empresas como es el Sistema Integrado de Gestión de Distribución de Energía en Ecuador (SIGDE), empresas generadoras, empresas distribuidoras, y autoridades pertinentes trabajen en conjunto para realizar el estudio de impacto al implementar esta tecnología. Para ello deben guiarse en los estándares que debe cumplir la red y ante todo el impacto que tendrá sobre las empresas involucradas desde la generación hasta llegar al abonado, y también el impacto sobre el abonado tomando en cuenta las ventajas y desventajas que la implementación acarreará al medio.

3.1 Estándares para sistemas AMI.

A continuación se presenta el marco inicial de estándares de interoperabilidad de la red eléctrica inteligente para un sistema seguro y eficiente. Al cumplir en su totalidad estos estándares se guía a que el sistema cumpla con una mayor eficiencia y calidad al momento de brindar servicios básicos y servicios con valor agregado a los abonados. A continuación en la tabla # 1 se enumera los principales estándares de comunicación para una SG.

ESTÁNDAR	APLICACIÓN
Requisitos de seguridad del sistema AMI	AMI y seguridad de extremo a extremo de la SG
ANSI C12.19/MC1219 IEEE SCC 31 AMR	Modelo de información de medición de unidades
BACnet ANSI ASHRAE 135-2008/ISO 16484-5	Automatización de edificios
DNP3	Automatización del dispositivo del alimentador y de la subestación
IEC60870-6/tase.2	Comunicaciones entre centros de control
IEC 61850	Automatización de la Subestación y protección
IEC 61968/61970	Interfaces del sistema de administración de energía de nivel de aplicación
IEC 62351 parte 1-8	Seguridad de la información para operación de control del sistema de potencia
IEEE C37.118	Comunicaciones de la unidad de medición de factores (PMU)
IEEE Serie 1547	Interconexiones Eléctricas y físicas entre la empresa eléctrica y la generación distribuida
IEEE SCC 21	Celdas de combustible, Fotovoltaicos y Generación Dispersada
IEEE 1686-2007	Seguridad para dispositivos

	electrónicos inteligentes (IEDs)
NERC CIP 002-009	Estándares de seguridad cibernética para el sistema de potencia de volumen
NIST Publicación Especial (SP) 800-53, NIST SP 800-82	Estándares de seguridad cibernética y guías para el sistema de información Federales, incluyendo aquellos para el sistema de potencia de volumen
Respuesta a la demanda automatizada abierta (open ADR)	Responsivo de precio y control de carga directa
Open HAN	Comunicación del dispositivo de red de área doméstica, Medición y control
ZigBee/Home Plug perfil de energía inteligente	Comunicaciones del dispositivo de red de área doméstica, modelo de información

Tabla 1.- Estándares para comunicaciones[2].

La tabla 1 nos indica claramente que al implementar los estándares de comunicación que hacen que la red sea inteligente, se logra prestar más servicios a los abonados y un mayor control para las empresas involucradas en la distribución y comercio de la energía, ya que las aplicaciones de una red de este tipo no son tan limitadas

3.2 Impacto de las SG sobre las empresas de distribución y el cliente consumidor.

Ante la implementación de una nueva tecnología en los sistemas de distribución para mejoras, se tendrá respuestas por parte de los entes de distribución y generación como también de los abonados, reacciones debido a un cambio, tomando en cuenta los altos niveles de recursos económicos invertidos en esta tecnología las respuestas serian negativas tanto de los abonados como de los

comercializadores de energía eléctrica, ya que se trata de un gasto que por ahora no se puede comparar hasta que sea implementada. Por lo tanto se está consiente que la respuesta de los abonados como de los entes que intervienen en la comercialización de energía eléctrica serán negativos, ya que se trata de una recuperación a largo plazo de la inversión.

De acuerdo a la arquitectura que se maneja dentro de las SG, a continuación se explica el impacto de cada uno de sus subsistemas sobre las empresas de distribución y sobre el cliente consumidor.

➤ Transmisión.

A continuación en la tabla 2 se enumera e indican el impacto que genera los principales parámetros que se toaran en cuenta para la transmisión.

	IMPACTO	
Parámetro	Sobre las empresas de comercialización	Sobre el cliente consumidor
Localización de fallas de transmisión	Ayuda a la mejora del rendimiento del sistema, manteniendo la fidelidad del consumidor y aumenta la confiabilidad de la empresa.	Mejora la calidad de servicio al tener una rápida respuesta de fallos a gran escala, obteniendo mayor gratitud y confiabilidad en el proveedor por la eficiencia prestada
Recolección de datos y administración	Mantiene un orden para mejorar la gestión de servicios al abonado y ayuda a la eficiencia del sistema de gestión para revisión verificación de datos	Ayuda a la comodidad del usuario ya que puede acceder rápidamente a la información de su perfil de abonado con información más detallada en una gran base de datos.

Monitoreo del sistema	Previene fallas o mal comportamiento de los elementos al tener banderas que indican el comportamiento del sistema, líneas de comunicación y control de elementos de la SG	Brinda estabilidad en la calidad de energía que le es suministrada al consumidor
Monitoreo de la condición de los elementos	Mantiene un determinado nivel de seguridad en el funcionamiento de los elementos y sensores que están en la SG	Menos interrupciones de energía ya que se puede prevenir fallas al saber que algún elemento de la red se encuentra en mal estado o deteriorada

Tabla 2.- Impacto a nivel de Transmisión

➤ **Distribución.**

Para mejorar la distribución se gestionan parámetros que ayudan al desempeño de la red aumentando la eficiencia de la SG.

	IMPACTO	
Parámetro	Sobre las empresas de comercialización	Sobre el cliente consumidor
Localización de fallas de distribución	Indica eficazmente la sección de la red donde se encuentra el fallo, generando una rápida respuesta de parte de la empresa distribuidora	Sabe que la solución será más rápida que en el caso de una red convencional que se tarda demasiado en localizar la falla

Administración del sistema distribuido con reconfiguración automatizada	Ayuda al administrador del sistema a gestionar una mejor ruta para reconexión y solución de fallos	Obtiene rápida respuesta de solución de fallos ante la desconexión de la red
Estimación de estados de distribución	Indica la necesidad de realizar la conexión de generadoras de energía eléctrica para poder abastecer a todos los abonados	Se siente más confiado porque la posibilidad de corte energético por falta de generadoras eléctricas es casi nulo

Tabla 3.- Impacto a nivel de distribución

➤ Integración del cliente.

La integración del cliente a más de los servicios prestados hasta ahora con una red convencional, con la SG se añade servicios para comodidad del usuario que son parte del objetivo de la SG, como además se puede brindar servicios con valor agregado.

	IMPACTO	
Parámetro	Sobre las empresas de comercialización	Sobre el cliente consumidor
Información de uso de energía basada en web para clientes	Produce mayor confiabilidad ya que se puede obtener una curva de consumo, la cual se puede controlar.	Control y conciencia del mal uso de energía eléctrica

Información de precios de tiempo real para clientes	Mejor control de la información de los abonados gestionados por perfiles de usuarios en su base de datos	Satisfacción en la rápida respuesta de consultas que son más detalladas.
Monitoreo y administración de recursos	Servicios con valor agregado para los abonados, los cuales producen un mejor beneficio de la red y la tecnología implementada	Ayuda a controlar el consumo energético mediante corte y conexión de cargas vía internet o gestionando diferentes planes de servicio con el proveedor

Tabla 4.- Impacto a nivel de integración del cliente

Como se puede revisar en las tablas 2, 3 y 4[8] los impactos generados sobre las empresas de comercialización como sobre el cliente consumidor son efectivamente positivos, nuevamente recordando que no se toca el aspecto económico; al ver la calidad de servicios que se pueden implementar y el cambio en la eficiencia y rapidez del servicio es una red que funciona de acuerdo a las necesidades y requerimientos para la comodidad del abonado. Por lo tanto es un impacto positivo tanto para las empresas de comercialización como para el cliente consumidor, al ser una tecnología que se puede adaptar a cambios y expandir fácilmente con los protocolos y estándares indicados.

3.3 Retos de una SG

Una SG está llena de retos a cumplir al momento de operar, los cuales se gestionan por un operario, pero las alarmas y banderas alertan al operario a comprobar si es posible o no realizar cambios de estado dentro de la red; por lo cual la Figura 9 enumera de manera breve los objetivos que a una SG se le propone.

En la Figura 9 se indican los propósitos que la SG cumplirá a petición de la cantidad de abonados, por lo tanto es una red flexible para crecimiento y expansión en cuanto a tamaño como a capacidad de demanda energética. Estos cambios en la actualidad serán más notorios por los avances tecnológicos y el apoyo que se ha incrementado al uso de energías verdes (generación de energía eléctrica con energías renovables)

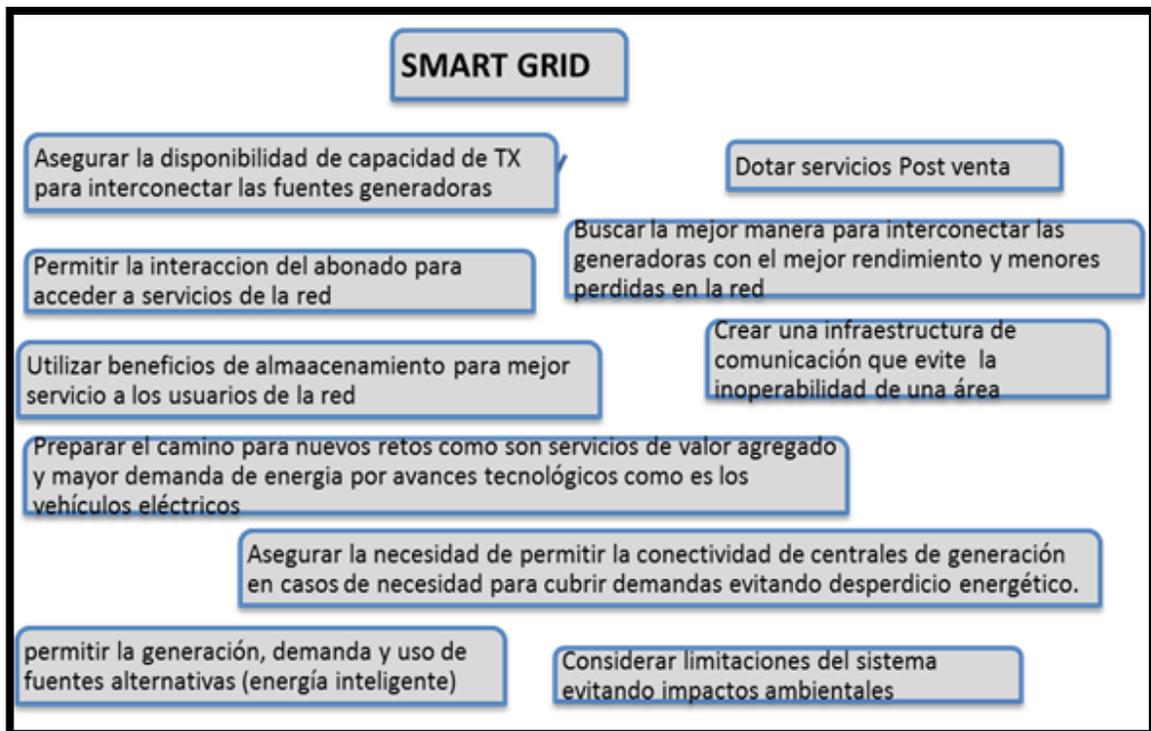


Figura 9. Propósitos de una SG[8]

Por lo tanto se deberá correr el riesgo de que algún día suceda al igual que las redes de distribución típicas que tenemos implementadas en el país y estas también lleguen a ser pasadas de tecnología, ya que la inversión es elevada y el coste de la inversión estarían proyectados para ser recuperados aproximadamente en 30 años, cuando posiblemente aparezcan nuevas tecnologías y formas de distribución eficientes.

Para conocimiento AVANTI (Southern California – Edison 2009 - 2012); es una solución que oferta [8]:

- Tecnología avanzada en circuitos de distribución
- Medidores inteligentes
- Conexión para carga de vehículos eléctricos
- Distribución automatizada
- Procesadores lógicos
- Interruptores a vacío y restauradores automáticos para localizar, aislar y restaurar las fallas producidas en el sistema.
- Calidad de energía al interconectar con micro redes generadoras con el sistema de distribución.
- 108 casas con paneles solares
- Banco de baterías
- Equipo para despacho e intercambio de medición de la energía de la red y generada por paneles.

Con este tipo de ejemplos que vienen trabajando podemos verificar la eficiencia del tipo de tecnología a la cual esperamos algún día implementar y acoplarnos.

CONCLUSIONES:

Una red de distribución eléctrica es un sistema que se ha vuelto indispensable en el medio en el cual nos desarrollamos, y puede ser tan sencilla como una red convencional con las características más sencillas y simplemente con la capacidad de transmitir y abastecer energía eléctrica a los abonados como tan complicada y compuesta de cualidades que le permiten ser capaces de tomar decisiones, enviar alarmas de alerta, compartir información en tiempo real por medio de una base de datos que el proveedor dispone. Esto es una red inteligente, la cual está compuesta de estas características para brindar confort, ayudar al medioambiente y a la comunidad a evitar el desperdicio de energía no renovable, apoyando al uso de energías verdes.

Las redes de comunicaciones inteligentes están divididas en subsistemas, los cuales ayudan a formar esta gran red eficiente. Uno de los principales subsistemas y se podría decir que el corazón de una SG, es la infraestructura de medición avanzada, que a su vez esta subdividida en secciones. Existen elementos de lectura, protocolos de comunicación controles y elementos de control que son parte de una AMI.

Para darle funcionalidad a una AMI es necesario interconectar los elementos de ésta, desde las cargas de los abonados hasta la base de datos del proveedor, los cuales tienen diferentes tipos de protocolos de comunicación, estos protocolos difieren de la velocidad y capacidad requerida al momento de interconectar los elementos; para una denominada micro red de casa es necesario conectar todas las cargas a un acumulador de información mediante un protocolo de comunicación,, tomando en cuenta que la velocidad y capacidad de información que se intercambia será menor que la información

que se tiene al interconectar un bloque de medidores inteligentes de una zona donde se distribuye la energía eléctrica.

Al tener un sistema robusto que es capaz de informar eventos dentro de la red, también existen necesidades como la seguridad de la red, por lo cual se ejecuta un nivel de encriptación de datos para brindar seguridad y evitar fraude en la SG.

Se revisaron las características de las SG, donde podemos ver que el mayor enfoque es hacia la comodidad y un mejor servicio hacia el abonado; el abonado está en la capacidad de acceder a servicios con valor agregado los cuales oferta la empresa distribuidora, esto atravesó de todos los protocolos de comunicación que se tiene hasta llegar a la base de datos y entonces compartirlos en la nube (la red de internet), accediendo a la información para control de cargas domiciliarias , control de consumo, información detallada entre otros servicios, accediendo a través de su usuario y contraseña.

Se debe tomar en cuenta y no confundir la tecnología de medición inteligente y medición remota, ya que al confundir esos parámetros podríamos poner en riesgo toda una red. De igual manera se lo debe hacer al momento de escoger un productor de tecnología para las AMI, el que sea más amigable con la interconectividad con elementos que no sean de la misma casa comercial.

Al utilizar los estándares de comunicaciones para la AMI es posible completar una red completamente estable y eficiente, ya que esta debe ser de dos vías.

RECOMENDACIONES:

Si en el Ecuador se decide implementar una SG tomar en cuenta la capacidad de crecimiento de la red y concientización de la gente para el uso de energías verdes.

Los entes de comunicación deberán trabajar conjuntamente para lograr acuerdos con los habitantes y concientizar que al implementar esta tecnología se tendrán mayores oportunidades de desarrollo, ahorro energético y de capital tanto para el abonado como para las empresas generadoras.

Los abonados deben comprometerse a conservar y mantener a salvo los equipos ya que son equipos que el abonado puede manipular, lo cual se vuelve un riesgo para mantener los equipos en condiciones óptimas, debido a esto es recomendable realizar capacitación a los abonados acerca del uso de los equipos.

Al ser una red inteligente no quiere decir que no sea importante la manipulación de la red para mantenimiento, por lo cual se deberá tener personal capacitado para implementación, mantenimiento de la red y corrección de errores.

La importancia de elegir la tecnología de los equipos de medición y colectores de información es importante porque se debe tomar en cuenta si tienen la capacidad de inter operar entre las diferentes casas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

- [1] P. Kryzysztow Iniewski, *Smart Grid Infrastructure & Networking*. Mc Graw Hill, 2013.
- [2] V. Congreso and D. Tecnológico, “Red Eléctrica Inteligente : comunicaciones y sensado .,” no. Tabla 1, pp. 1–20, 2010.
- [3] M. F. Ortiz and O. E. Luis, “ESTUDIO DE LA INFRAESTRUCTURA DE MEDICIÓN AVANZADA (AMI), PRINCIPALES REQUERIMIENTOS Y BENEFICIOS,” 2012.
- [4] H. Sui, H. Wang, M. Lu, and W. Lee, “An AMI System for the Deregulated Electricity Markets,” *IEEE Transactions on Industry Applications*, vol. 45, no. 6, pp. 2104–2108, 2009.
- [5] C. Bennett and D. Highfill, “Networking AMI Smart Meters,” no. November, 2008.
- [6] M. A. Rahman, P. Bera, and E. Al-Shaer, “SmartAnalyzer: A noninvasive security threat analyzer for AMI smart grid,” *2012 Proceedings IEEE INFOCOM*, pp. 2255–2263, Mar. 2012.
- [7] S. Dagtas, G. Pekheryev, and Z. Sahinoglu, “Multi-Stage Real Time Health Monitoring via ZigBee in Smart Homes,” *21st International Conference on Advanced Information Networking and Applications Workshops (AINAW’07)*, pp. 782–786, 2007.

- [8] E. Mauricio and I. Ortega, “Redes de Comunicación en Smart Grid,” pp. 36–55, 2012.
- [9] O. Dominguez, “ELSTER_ Que tan inteligentes son los Medidores Inteligentes.” Elster, 2010.
- [10] Energía Eléctrica. Distribución de la Energía Eléctrica. Disponible en internet en:

<http://laenergiaelectrica-daisaku.blogspot.com/>
- [11] Cuaderno Digital de Daniel Cano. Redes de Distribución de Energía Eléctrica.

Disponible en internet en:danielcanov.blogspot.com/2012/10/red-de-distribucion-electrica.html
- [12] Cenace. Indicadores Sector Eléctrico y Redes Inteligentes. Diciembre 2011. 48 diapositivas. Disponible en internet en:<http://www.slideshare.net/LuisNoble90/cenace-indicadores-y-redes-inteligentes>
- [13] DETEA. El futuro de la distribución eléctrica. Septiembre 2011. 4 páginas. Disponible en internet en:http://www.detea.es/nav/Para_saber_mas/Atrevete_saber/noticia_003_3_redes_inteligentes.html