

**ANÁLISIS DE LAS ALTERNATIVAS TECNOLÓGICAS DE MEDIDOR Y
TRANSFERENCIA INTELIGENTE Y SU COMPATIBILIDAD PARA LA
INTEGRACIÓN EN UNA RED INTELIGENTE RESIDENCIAL**

Liliana Janneth Acero Suárez

Carlos Mario Fonseca Jimeno



**ESCUELA DE INGENIERÍAS
ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA
Y DE TELECOMUNICACIONES**



**Universidad Industrial de Santander
Facultad de Ingenierías Físico Mecánicas
Escuela de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones
Bucaramanga
2013**

**ANÁLISIS DE LAS ALTERNATIVAS TECNOLÓGICAS DE MEDIDOR Y
TRANSFERENCIA INTELIGENTE Y SU COMPATIBILIDAD PARA LA
INTEGRACIÓN EN UNA RED INTELIGENTE RESIDENCIAL**

Liliana Janneth Acero Suárez

Carlos Mario Fonseca Jimeno

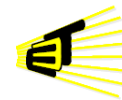
**Trabajo de Investigación presentado como requisito para optar e título de:
Ingeniero Electrónico**

**Director:
MIE. Manuel José Ortiz Rangel**

**Codirector:
Dr. Gabriel Ordóñez Plata**



**ESCUELA DE INGENIERÍAS
ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA
Y DE TELECOMUNICACIONES**



**Universidad Industrial de Santander
Facultad de Ingenierías Físico Mecánicas
Escuela de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones
Bucaramanga
2013**

DEDICATORIA

A Dios por darme la fuerza, la sabiduría para cumplir esta meta, por su ayuda incondicional en cada momento

A mis padres Paulino y Maritza por su amor, compañía por ser mi apoyo incondicional a mis hermanas Yina y Paula por ser parte de este proyecto de vida.

A Juan Manuel por su compañía en los instantes de alegría y dificultad durante mi estudio.

A mi compañero Carlos por su amistad, comprensión, esfuerzo y dedicación.

A todos mis amigos y personas que conocí en el transcurso de estos años, por su amistad compañía y por ser parte de mi vida.

Liliana Janneth Acero Suárez

DEDICATORIA

A Dios todo poderoso, por haberme permitido llegar hasta este punto, porque sin su ayuda nada de esto hubiera sido posible.

A mis padres, hermanos, tíos, primos que siempre fueron un apoyo en todo momento, por sus consejos, sus valores, por la motivación constante que me ha permitido seguir adelante.

A mi compañera por su amistad, comprensión, esfuerzo y dedicación.

Carlos Mario Fonseca Jimeno.

AGRADECIMIENTOS

Los autores queremos expresar nuestros sinceros agradecimientos a todas las personas que contribuyeron en la realización de este proyecto, en especial al Director de esta investigación, el MIE Manuel José Ortiz Rangel, por la orientación y supervisión de este trabajo y por sus valiosas enseñanzas durante nuestro proceso de formación como profesionales.

A la Universidad Industrial de Santander pero en especial a todos los compañeros y el personal de la Escuela de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones, por acogernos durante el transcurso de nuestra carrera y por darnos el conocimiento y la formación necesaria para lograr nuestro título profesional.

Tabla de Contenido

INTRODUCCIÓN	18
JUSTIFICACIÓN	22
OBJETIVOS	24
1. RED ELÉCTRICA INTELIGENTE CONCEPTOS Y DEFINICIONES.....	25
1.1 RED ELÉCTRICA INTELIGENTE (SMART GRID).....	25
1.1.1 Modelo conceptual de referencia.....	28
1.1.2 Arquitectura de comunicaciones de smart grid.....	38
1.2 SISTEMAS DE MEDICIÓN INTELIGENTE	41
1.2.1 Lectura automática del medidor (Automatic Meter Reading).....	41
1.2.2 Infraestructura de medición avanzada (Advanced Metering Infraestructure).....	42
1.3 RED INTELIGENTE DOMESTICA	45
1.3.1 Aplicaciones de la funcionalidad de un hogar inteligente	46
1.3.2 Sistema de gestión energética residencial	48
1.3.3 Componentes de comunicación	52
1.4 LA GESTIÓN ENERGÉTICA RESIDENCIAL	63
1.4.1 Sistema de medición abierto (OMS por sus siglas en Ingles).....	63
1.4.2 Resolución 120 de 2007 – Código de medida.....	64
1.4.3 Ley 697 de 2001 – Ley URE.....	66
1.4.4 Decreto reglamentario 3683 de 2003	66
1.4.5 Programa CONOCE	67
1.4.6 Norma ISO 50001.....	67

2. SISTEMA DE GESTIÓN ENERGÉTICA BASADO EN MEDICIÓN INTELIGENTE Y TRANSFERENCIA INTELIGENTE DE POTENCIA	68
2.1 TOPOLOGÍA BÁSICA DE UN SISTEMA DE GESTIÓN ENERGÉTICA RESIDENCIAL.....	68
2.1.1 Transferencia inteligente de potencia.....	69
2.1.2 Síntesis del sistema de gestión energética residencial.	82
2.2 SELECCIÓN DE LA PROPUESTA DE GESTIÓN ENERGÉTICA RESIDENCIAL.....	84
2.2.1 Revisión de proveedores de tecnología	84
2.2.2 Depuración de la oferta comercial	85
2.2.3 Evaluación técnico-comercial de las ofertas.....	87
2.2.4 Descripción de la oferta recomendada	101
3. TOPOLOGÍA DEL SISTEMA DE GESTIÓN ENERGÉTICA RESIDENCIAL.	102
3.1 CARACTERÍSTICAS	102
3.2 Evaluación del sistema de gestión energética residencial de la propuesta recomendada.....	104
3.2.1 Funcionalidad del sistema	104
3.2.2 Contraste con el escenario tradicional.....	108
3.3 PRESUPUESTO GENERAL.....	111
4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	112
4.1 CONCLUSIONES	112
4.2 RECOMENDACIONES.....	113
ANEXOS.....	115

A. Reglamentación	115
B. Descripción de la tarjeta principal del inversor	121
C. Cotizaciones.....	124
D. Cálculo de la demanda máxima por estrato socioeconómico.....	125
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	133

Lista de Figuras

Figura 1.1. Sistemas de energía eléctrica convencional (a) y sistemas de energía eléctrica inteligente (b).....	26
Figura 1.2. Interacción entre los dominios de red inteligente a través de flujos de comunicación y flujos eléctricos.....	30
Figura 1.3. Diagrama de referencia conceptual para la red de información de la red eléctrica inteligente	31
Figura 1.4. Visión general de dominio del cliente.....	33
Figura 1.5. Visión general del dominio del mercado.	34
Figura 1.6. Visión general del dominio de proveedor de servicio.....	35
Figura 1.7. Visión general del dominio de operaciones.	35
Figura 1.8. Visión general del dominio de generación.	36
Figura 1.9. Visión general del dominio de transmisión.....	37
Figura 1.10. Visión general del dominio de distribución.....	38
Figura 1.11. Infraestructura de comunicación para smart grid	39
Figura 1.12 Infraestructura del Sistema AMI.....	43
Figura 1.13. Concepto de la tecnología de un hogar inteligente.....	47
Figura 1.14. Características y ejemplos de los diferentes tipos de redes según su dominio.	53
Figura 2.1. Infraestructura de un sistema de gestión energética residencial.	69
Figura 2.2 Diagrama funcional medidor inteligente.....	72
Figura 2.3. Módulos funcionales genéricos que representan un medidor inteligente.	75
Figura 2.4. Módulos funcionales genéricos que representan un toma inteligente.	77
Figura 2.5. Módulos funcionales genéricos que representan un Hub central de control.	80
Figura 3.1. Topología del sistema de gestión energética de acuerdo a la oferta tecnológica seleccionada.....	103

Figura 3.2 Consumo de potencia diario por estrato108
Figura 3.3 Contraste entre los diferentes estratos.110

Lista de Tablas

Tabla 1.1 Características comparativas	27
Tabla 1.2 Dominios y actores en el modelo conceptual.....	29
Tabla 1.3. Conceptos claves del diagrama de referencia conceptual	32
Tabla 1.4 Clasificación del medidor de energía eléctrica por su complejidad	65
Tabla 2.1. Sistema de gestión energética residencial.....	83
Tabla 2.2. Lista de proveedores.....	84
Tabla 2.3. Análisis de la lista de proveedores.....	86
Tabla 2.4 Evaluación de las comunicaciones para cada oferta tecnológica	88
Tabla 2.5. Fotografías del diseño de dispositivos en cada una de las ofertas	89
Tabla 2.6. Evaluación de las características físicas y facilidad de instalación	90
Tabla 2.7. Evaluación funcional de ofertas- Medidor inteligente	93
Tabla 2.8.Evaluación funcional de ofertas- Inversor	94
Tabla 2.9. Evaluación funcional de ofertas- Toma inteligente.....	95
Tabla 2.10. Evaluación funcional de ofertas- Hub o control central	95
Tabla 2.11. Evaluación funcional de ofertas- Termostato inteligente.....	96
Tabla 2.12. Evaluación funcional de ofertas- Gateway	97
Tabla 2.13. Evaluación funcional de ofertas- Interfaz de usuario	98
Tabla 2.14. Ponderación global de la funcionalidad de las ofertas comerciales	99
Tabla 2.15. Ponderación global de la funcionalidad de las ofertas comerciales ..	101
Tabla 2.16. Oferta recomendada	101
Tabla 3.1. Funcionalidad del sistema.....	104
Tabla 3.2 Características dispositivos Corinex	105
Tabla 3.3. Características dispositivos ERASMUS	107
Tabla 3.4. Cálculo de la demanda máxima	108
Tabla 3.5 Contraste entre los diferentes estratos	109
Tabla 3.6. Costo unitario oferta ERASMUS	111

RESUMEN

TITULO: ANÁLISIS DE LAS ALTERNATIVAS TECNOLÓGICAS DE MEDIDOR Y TRANSFERENCIA INTELIGENTE Y SU COMPATIBILIDAD PARA LA INTEGRACIÓN EN UNA RED INTELIGENTE RESIDENCIAL.

AUTORES: ACERO SUÁREZ, Liliana Janneth; FONSECA JIMENO, Carlos Mario.**

PALABRAS CLAVE: Red eléctrica inteligente, medición inteligente, red inteligente residencial.

DESCRIPCION

En este proyecto de grado se presenta el análisis de las alternativas tecnológicas disponibles en el mercado que permiten establecer la compatibilidad entre el medidor y la transferencia inteligente de potencia como componentes esenciales en la integración de un hogar inteligente. El estudio se desarrolla a partir de la revisión conceptual de una red eléctrica inteligente, con la descripción de las características funcionales, topológicas, los protocolos de comunicación y las técnicas relacionadas además de la descripción general del sistema de medición de un hogar inteligente y su papel fundamental en las nuevas redes de energía.

Luego se realiza la descripción de las características de dos componentes principales de la red eléctrica inteligente que son el medidor inteligente y la transferencia inteligente de potencia además contiene la revisión de los proveedores disponibles y la evaluación técnica de la oferta comercial disponible, a partir de la cual se definen los criterios que permitieron establecer el grado de compatibilidad de la oferta tecnológica disponible y finalmente describir la oferta recomendada destacando sus características y funcionalidades, además de la evaluación del sistema de gestión energética residencial de la oferta recomendada a través del contraste con un sistema tradicional y de esta manera presentar los beneficios que proporciona el implementar el sistema propuesto.

* Proyecto de grado desarrollado en la modalidad de investigación.

** Facultad de Ingenierías Físico-mecánicas. Escuela de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones. Director: MIE. Manuel José Ortiz Rangel. Co-Director: PhD. Gabriel Ordóñez Plata.

ABSTRACT

TITLE: ANALYSIS OF TECHNOLOGICAL ALTERNATIVES SMART METER AND TRANSFER AND THEIR COMPATIBILITY FOR INTEGRATION IN AN SMART HOME.*

AUTHORS: ACERO SUÁREZ, Liliana Janneth; FONSECA JIMENO, Carlos Mario.**

KEYWORDS: Smart grid, smart metering, smart home.

DESCRIPTION:

This graduate project is an analysis of the technological alternatives available on the market that allow the compatibility between smart meter and smart power transfer as essential components in the integration of a smart home. The study was developed from the conceptual review of a smart grid, with the description of functional features, communication's protocols and related techniques also to the general description of the measurement system of a Smart Home and its role in the new energy networks.

Then is performed the description of the characteristics of two main components of smart grid which are smart meter and smart power transfer also contains a review of the available suppliers and technical evaluation of the commercial offer available, based on which defines the criteria by which to establish the degree of compatibility of the commercial offer available and finally describe the recommended offer highlighting its features and functionalities, also of the assessment of residential energy management system of the recommended offer through contrast with traditional system and this way present the benefits provided by the proposed system implementation.

* Degree's project developed with research purposes

** Physical Faculty of Mechanical Engineering. School of Electric, Electronic and Telecommunications.
Advisor: MIE. Manuel José Ortiz Rangel. Co-Advisor: PhD. Gabriel Ordóñez Plata.

INTRODUCCIÓN

Parte de la situación relacionada con el cambio climático está asociada al incremento acelerado del consumo energético en los ámbitos sociales y productivos, lo cual ha motivado la búsqueda de alternativas tecnológicas para mejorar el aprovechamiento de los recursos energéticos, reducir el impacto de la demanda de los combustibles fósiles y racionalizar diversos tipos de energía garantizando la conservación del medio ambiente. En este sentido, diversas tecnologías convergen para lograr el uso racional y eficiente de la energía en aspectos culturales y de gestión energética.

Por ende, la industria energética tiene un papel protagónico en la búsqueda de nuevas formas de suministrar y medir la energía que demandan los usuarios. Asimismo el marco técnico y reglamentario de muchos países ha propiciado avances enfocados en el mejoramiento de la confiabilidad, la disponibilidad de energía y la eficiencia energética, es decir múltiples estrategias enfocadas en la operación de los sistemas. Sin embargo, por ejemplo en el sector residencial, los usuarios tradicionalmente son actores pasivos que cambian sus expectativas de la demanda en función de la oferta de artefactos y dispositivos que proveen información, confort, seguridad, etc.

Debido a esto se busca la reducción del consumo energético sin sacrificar las condiciones de confort y seguridad del usuario residencial, además de concretar una prospectiva soportada en nuevas tecnologías hacia un futuro más promisorio teniendo en cuenta el impacto y la reducción de los servicios que proveen los ecosistemas.

Para cumplir este reto se requiere la adopción de cambios topológicos y tecnológicos de la infraestructura de la red eléctrica actual hacia una red eléctrica inteligente (*Smart Grid*, SG) que incida en los procesos de generación, transmisión distribución, comercialización y uso final de la electricidad, todo esto apoyado en

sistemas de gestión, información y comunicación aplicados a la red eléctrica para aumentar las alternativas de conectividad y la calidad del suministro de energía en toda la cadena energética¹.

En relación con esto, el componente tecnológico más importante de una red inteligente es el sistema de medición avanzada (AMI por sus siglas en inglés), éste consiste en un sistema de comunicación bidireccional que involucra un “medidor inteligente” y otros dispositivos de monitorización y de gestión energética.² Lo que permite que los agentes del sistema mejoren los tiempos de respuesta en caso de contingencias, optimicen las opciones de conexión y desconexión de suplencias y redundancias, así como una comunicación en tiempo real de los parámetros técnicos y las variables económica que garanticen nuevas alternativas de negocio como los servicios contextuales, las tarifas diferenciales y las transacciones energéticas de los usuarios residenciales que incorporen fuentes alternativas, entre otras funciones.

Cabe añadir que cada puerto o artefacto inteligente se enrola previamente para formar parte del listado de elementos que serán objeto de la gestión energética. Ahora bien, el medidor inteligente es un dispositivo que permite los flujos de energía y de datos en ambos sentidos para el sistema de información local y del operador de red, y de esta manera mejorar los patrones de consumo, predecir, controlar la producción y la demanda de energía reduciendo los costos de facturación, así como el desperdicio de la misma.

Por otro lado la transferencia inteligente de potencia es un componente esencial de la red inteligente residencial, que permite una mayor integración de diferentes fuentes alternas generadoras de energía eléctrica, estas fuentes han trascendido a

¹ LING Katherine. How will the smart grid work? (Septiembre 2009) [Consultado Noviembre 2012]. Disponible en: <http://www.scientificamerican.com/article.cfm?id=smart-grid-nist-standards-commerce-department>.

² CORONEL, Marco. Estudio para la implementación del sistema de infraestructura de medición avanzada (AMI) en la empresa eléctrica regional centro Sur C.A. Ecuador 2011 p. 109-115

los ámbitos residenciales, donde cada usuario tiene la posibilidad de generar y consumir su propia energía eléctrica, permitiendo al usuario disminuir los costos de su facturación y reducir la carga a la red local, además con capacidad de aportarle al sistema eléctrico sus excedentes energéticos.

Así pues, la integración del medidor y la transferencia inteligente de potencia permite el óptimo funcionamiento de un hogar inteligente (*smart home*) es decir, una residencia equipada con avanzadas tecnologías y dispositivos electrónicos capaces de comunicarse y operar conjunta e inteligentemente con el fin de realizar tareas que benefician a los usuarios desde diferentes perspectivas.³

En relación con la energía eléctrica existe la posibilidad de su generación local, la cual requiere de acumuladores y dispositivos que garanticen la transferencia de las reservas energéticas de manera eficiente y oportuna. Estos dispositivos deben interactuar de manera continua con la energía que provee el operador de red de manera tradicional y constituyen el punto clave para garantizar la continuidad del suministro en aspectos de eficiencia energética, calidad de la energía y reducción del uso de fuentes tradicionales.

Los sistemas de generación local de energía eléctrica, a diferencia de los sistemas centralizados de distribución actual, permiten que cada usuario adquiera cierta autonomía energética para no depender exclusivamente de las centrales eléctricas tradicionales, con lo que se logra un menor uso de combustibles fósiles.

Otro componente importante de las redes inteligentes es la capacidad de comunicar en tiempo real diversos parámetros técnicos e información contextual que propicie la incorporación de cada usuario en la gestión energética de los sistemas eléctricos. En este sentido, el reto tecnológico está superado teniendo en cuenta la masificación de los servicios de telecomunicaciones a nivel residencial y personal.

³ RICQUEBOURG Vicent, MENGA David, DURAND David, MARHIC Bruno, DELAHOUCHE Laurent, LOGÉ Christophe. The smart home concept: our immediate future. Amiens 2006

En general, los aspectos técnicos y operativos solo serán posibles en el marco de ciertos aspectos legales, reglamentarios y normativos. Dada la naturaleza de las inversiones y la integración de cada usuario es necesario formalizar la nueva estructura del mercado energético donde los flujos de energía eléctrica fluyen en múltiples direcciones y donde los clientes son consumidores y aportantes de manera simultánea, es decir que se deben formalizar los esquemas de micro generación distribuida a nivel de usuarios residenciales. Esto incluye los mecanismos de financiación, los incentivos tributarios y los esquemas de tarifas diferenciales para motivar la migración de un sistema energético tradicional a uno de redes inteligentes.

Este proyecto se enmarca en la determinación de la compatibilidad entre diferentes componentes de una red inteligente doméstica, específicamente el medidor inteligente y los sistemas de transferencia inteligente de potencia. Por tanto se identificaron las principales características técnicas para la monitorización y gestión de la potencia y a partir de ello se definieron criterios técnicos que permitieron establecer el grado de compatibilidad de la oferta tecnológica disponible.

El desarrollo del documento se divide en cinco capítulos como se describe brevemente a continuación. El primer capítulo comprende la introducción con los aspectos generales del trabajo de investigación. El segundo capítulo expone el concepto de red eléctrica inteligente, con la descripción de las características funcionales, topológicas, los protocolos y las técnicas relacionadas además de la descripción general del sistema de medición avanzada de un hogar inteligente y su papel fundamental en las nuevas redes de energía. El capítulo tres incluye la descripción de las características de dos componentes principales de la red eléctrica inteligente que son el medidor inteligente y la transferencia inteligente de potencia además contiene la revisión de los proveedores disponibles y la evaluación técnica de la oferta comercial disponible, a partir de la cual se definen los criterios que permitieron establecer el grado de compatibilidad de la oferta

tecnológica disponible. En el capítulo cuatro contiene la descripción de la oferta recomendada destacando sus características y funcionalidades además de la evaluación del sistema de gestión energética de la oferta recomendada. Finalmente, en el capítulo cinco se evidencian las principales conclusiones y recomendaciones del trabajo de grado. Adicionalmente, en los anexos se detallan algunos aspectos necesarios para estructurar el documento que sintetiza el trabajo de grado realizado.

JUSTIFICACIÓN

Actualmente, se convive con la necesidad de integrar los beneficios de la tecnología a las redes eléctricas. Esto ha permitido en el contexto de las redes inteligentes que la energía eléctrica pueda fluir en todos sentidos, es decir no solo desde las grandes centrales eléctricas, térmicas o hidráulicas hacia el usuario final, sino también desde el mismo a las redes eléctricas, esto implica un mejor uso de la energía y una mejor operación de los sistemas eléctricos. Las redes de transmisión y distribución se mantienen como el camino para que los flujos de energía se dirijan en todos los sentidos de acuerdo a los perfiles de la demanda y la disponibilidad de energía más económica y de menor impacto ambiental.

De esta manera, el mercado de los medidores inteligentes y las transferencias inteligentes de potencia han permitido la convergencia de las fuentes alternativas en esquemas donde existe la capacidad de conocer en tiempo real la cantidad de energía que se está consumiendo para dimensionar y facilitar los flujos de potencia y determinar qué fuente puede proveer energía de la manera más óptima. Esta nueva forma de operación supone algunos inconvenientes de orden tecnológico y logístico. En el campo de los proveedores se aprecian restricciones relacionadas a la compatibilidad de los equipos y dispositivos de control y monitorización de la potencia y a la gran variedad de protocolos y sistemas de

comunicación. Esta situación dificulta la migración de los sistemas tradicionales a los nuevos sistemas basados en redes inteligentes.

No obstante, las empresas proveedoras del servicio de energía se mantienen en la búsqueda de estrategias para propiciar el cambio y la compatibilidad de este nuevo escenario de redes eléctricas y para finalmente optimizar el consumo individual de los usuarios. Sin embargo a nivel de operadores de red surgen otro tipo de restricciones como la cobertura de las redes y la comunicación de los datos en tiempo real desde y hacia el usuario. Además, los agentes encargados del almacenamiento y el análisis de los datos se convierten en actores claves y son susceptibles a problemas de seguridad de la información.

En caso de comunicación física, el daño físico de los conductores provoca la discontinuidad en la transferencia de datos, otros posibles problemas de seguridad podría ser la autenticación débil, la calidad de software implementado, el tratamiento de errores, los protocolos débiles y la gestión de sesiones inadecuada. Los cambios en la infraestructura implican una inversión significativa cuyo retorno se compensa en la oportunidad de reducir el consumo energético y la sustitución de las fuentes de energía tradicional.

La necesidad de garantizar la integración óptima de los dispositivos para obtener la mejor funcionalidad del sistema y la limitada información que ofrecen algunos proveedores sobre estas tecnologías, justifican la revisión de las características técnicas de la oferta disponible en el mercado actual. Esto supone identificar las ventajas y desventajas de cada uno para establecer los criterios técnicos adecuados para la selección de un medidor inteligente y una transferencia inteligente de potencia en un sistema eléctrico residencial donde se incluye acumulación de energía eléctrica obtenida de fuentes alternativas. Adicionalmente, la selección adecuada de esta pareja de dispositivos garantiza la optimización de los parámetros técnicos y de eficiencia energética del sistema.

OBJETIVOS

Los objetivos de trabajo de grado se describen a continuación.

Objetivo general

Este trabajo de grado se enfoca en revisar la compatibilidad entre el medidor inteligente y los sistemas de transferencia inteligente en el contexto de una red inteligente doméstica, a partir de la definición y selección de criterios técnicos que permitan establecer el grado de compatibilidad de la oferta tecnológica disponible.

Objetivos específicos

- Entender conceptualmente dos componentes de una red inteligente doméstica: el medidor inteligente y la transferencia inteligente de potencia, a partir de la revisión bibliográfica y oferta tecnológica de tales componentes.
- Caracterizar los medidores inteligentes y transferencias inteligentes de potencia, como componentes esenciales de una red inteligente doméstica, a partir de las especificaciones técnicas disponibles y la definición previa de las características principales.
- Determinar la compatibilidad entre el medidor inteligente y la transferencia inteligente, a partir de la definición de unos criterios técnicos, considerando entre otros aspectos la medición, el control de la potencia y los protocolos de comunicación.

1. RED ELÉCTRICA INTELIGENTE CONCEPTOS Y DEFINICIONES

En este capítulo se expone los aspectos más importantes en cuanto a la definición de una red eléctrica inteligente con la descripción de las características funcionales, topológicas y protocolos de comunicación, además se presenta la descripción general del sistema de medición de un hogar inteligente y su papel fundamental en las nuevas redes de energía, todo esto apoyado en un marco legal, reglamentario y normativo.

1.1 RED ELÉCTRICA INTELIGENTE (*SMART GRID*)

Una red inteligente conocida como *smart grid* es la integración de varios sistemas inteligentes donde se trabaja en tiempo real para medir, monitorizar, controlar y automatizar un sistema eléctrico de potencia (generación, transmisión, distribución y comercialización), verificando el flujo de energía desde la generación hasta el usuario final.⁴ Esta novedosa estructura integra toda la parte eléctrica tradicional del sistema eléctrico de potencia con sistemas de información mediante una extraordinaria infraestructura de telecomunicaciones.

La integración de tecnologías inteligentes tiene como fin generar mejores beneficios tanto para los proveedores de servicios públicos como para los usuarios finales, lo que aumenta además, su confiabilidad, flexibilidad, disponibilidad y reduce el costo de la energía.

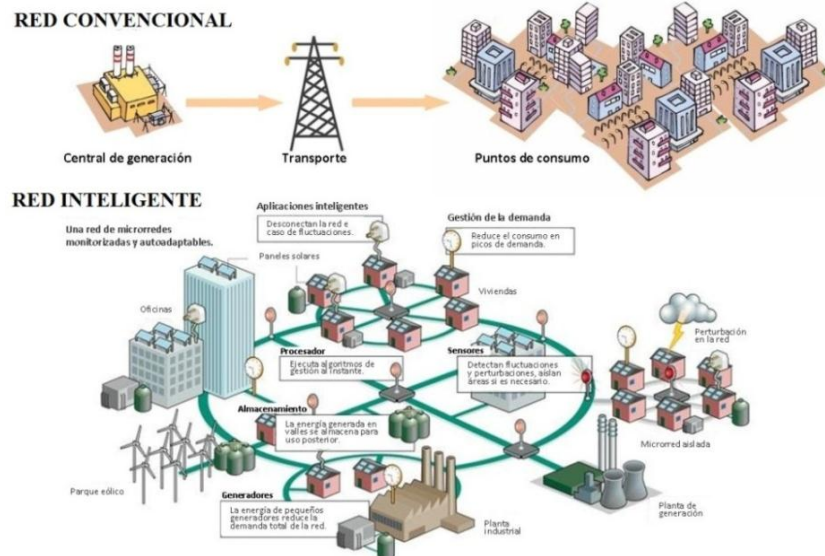
Por otro lado, una de las características más importantes que diferencia una red eléctrica inteligente de una tradicional es la capacidad de operar un flujo de energía bidireccional, es decir, de pasar del esquema en que el flujo de energía va

⁴ CORONEL, Marco. Estudio para la implementación del sistema de infraestructura de medición avanzada (AMI) en la empresa eléctrica regional centro Sur C.A. Ecuador 2011 p. 13-18.

solo desde las grandes plantas de generación hacia los usuarios finales, particulares o industriales (Figura 1.1, parte a) a otro que incorpora y aprovecha la capacidad de almacenamiento y generación distribuida, con un rol activo para los usuarios, en el que son capaces de proveer energía a otros usuarios (Figura 1.1 parte b) ⁵

La red del futuro contiene varios sistemas y equipos de distribución, lo cual indica una verdadera transformación en la forma de operar de la red permitiendo optimizar todo el sistema eléctrico de potencia. Uno de los sistemas principales es la infraestructura de medición avanzada (*Advanced Metering Infrastructure*), esta tecnología consta de un sistema de comunicación bidireccional que involucra medidores "inteligentes" y otros dispositivos de gestión de la energía. ⁶

Figura 1.1. Sistemas de energía eléctrica convencional (a) y sistemas de energía eléctrica inteligente (b)



Fuente: [31]

⁵ DETEA. El future de la distribución eléctrica: las redes inteligentes (Septiembre 2011) [Consultado Febrero 2013]. Disponible en: http://www.detea.es/nav/Para_saber_mas/Atrevete_saber/noticia_0033_redes_inteligentes.html

⁶ DÍAZ Carlos, HERNÁNDEZ Juan. Smart Grid: Las TICs y la modernización de las redes de energía eléctrica - Estado del Arte. Cali 2011 p. 58-59.

La red distribuida consta de tres elementos básicos:

- **Mini redes** las cuales permiten en los hogares y demás edificios generar su propia energía renovable (solar, eólica, mini hidráulica, biomasa, etc.) y autoabastecerse sin necesidad de conectarse a la red de suministro de energía interconectada.
- **Medidores inteligentes** que permiten a los productores locales vender su energía a la red general, o comprar energía de la red general.
- **Sensores, actuadores, procesadores inteligentes y software**, que permiten saber cuánta energía se está consumiendo en cualquier momento en cualquier punto de la red, lo que resulta muy útil para redirigir los flujos de energía a las zonas con mayor demanda o con mayor déficit como se observa en la Figura 1.1, b.

La red Inteligente contiene varias características relacionadas a su funcionamiento y estructura que permiten hacer una comparación con la red convencional. En la Tabla 1.1 se realiza una breve descripción de las características que hacen parte de la estructura de la red eléctrica convencional y la red eléctrica inteligente.

Tabla 1.1 Características comparativas

RED CONVENCIONAL	RED INTELIGENTE
Infraestructura eléctrica compartida con la infraestructura de telecomunicaciones	Infraestructura eléctrica separada de la infraestructura de telecomunicaciones
Gestión y operación en tiempo real (o cercano)	Largos tiempos de gestión y operación
Integración de los sistemas	Uso de sistemas por separado
Telecomunicaciones en arquitectura abierta	Telecomunicaciones limitadas
Comunicación bidireccional	Comunicación en una dirección
Es capaz de integrar generación distribuida y con flujos eléctricos flexibles	Construidas para una generación centralizada y flujos eléctricos en un solo sentido
Red monitorizada y con miles de sensores	Algunos sensores
Red auto monitorizada	Red "Ciega"

Reposición semi-automática y eventualmente auto-reposición	Reposición manual
Protecciones adaptativas	Propensa a fallos y apagones
Equipos con operación remota	Comprobación manual de los equipos
Decisiones basadas en sistemas de confiabilidad predictiva	Toma de decisiones de emergencia a través de comisiones y llamadas telefónicas del cliente.
Total control sobre el flujo de potencia	Control limitado sobre el flujo de potencia
Información total sobre el precio de la electricidad para cada momento	Información sobre el precio de la electricidad limitado
Consumidores con amplias posibilidades de elección	Consumidores con mínima elección del suministro.

Fuente: [28]

También es de resaltar la capacidad de interoperabilidad entre sistemas, dado que es la característica que hace más inteligente a la red eléctrica permitiendo la interacción de dos o más redes, sistemas, dispositivos, aplicaciones o componentes para intercambiar y utilizar fácilmente la información de forma segura, eficaz y con poco o ningún inconveniente para el usuario.

Cabe desatacar que debido a la gran variedad de sistemas y dispositivos surgió la necesidad de establecer estándares y protocolos que faciliten la interoperabilidad del sistema, todo esto llevo a que en el 2007 el Acta de Independencia Energética y Seguridad (EISA), asignara National Institute of Standards and Technology (NIST) como eje para la coordinación y desarrollo de un marco y modelo para Smart Grid ⁷

1.1.1 Modelo conceptual de referencia

El Instituto Nacional de Estándares y Tecnología elaboró un documento titulado “*NIST Framework and Roadmap for Smart Grid Interoperability Standards, Release 2.0*” (marco y plan para estándares e interoperabilidad de la red,

⁷ DÍAZ Carlos, HERNÁNDEZ Juan. Smart Grid: Las TICs y la modernización de las redes de energía eléctrica - Estado del Arte. Cali 2011 p. 61

publicación 2.0), el cual describe un *modelo conceptual de referencia*, que proporciona una guía referida al marco de interoperabilidad de los sistemas de red inteligente, además plantea la discusión sobre características, usos, comportamientos, otros elementos relacionados y sus interacciones.⁸

El modelo también es una herramienta para identificar las normas y protocolos que son necesarios para garantizar la interoperabilidad de los sistemas. Es de resaltar que el modelo no representa la arquitectura final sino que es un marco conceptual, es una herramienta para describir y discutir el desarrollo de dicha arquitectura.

A tal efecto, el instituto nacional de estándares y tecnología (NIST) adoptó el enfoque de dividir la red inteligente en siete dominios, como se describe en la Tabla 1.2 y se muestra gráficamente en la Figura 1.2.

Tabla 1.2 Dominios y actores en el modelo conceptual.

Dominio	Actores en el dominio
Cliente	Son los consumidores finales de la energía, con la característica particular de que ellos también pueden generar, almacenar y administrar el uso de la energía. Para identificar a los clientes tradicionales se les clasifica en su propio sub-dominio: residenciales, comerciales e industriales.
Mercados	Son los operadores y participantes en los mercados de la electricidad.
Proveedores de servicios	Son las organizaciones que proporcionan servicios a los clientes y empresas eléctricas (terceras partes).
Operadores	Son los gestores del suministro de la electricidad.
Generación (gran escala)	Los generadores de grandes cantidades de energía eléctrica, también pueden almacenar energía.
Transmisión	Las compañías dedicadas a la transmisión de energía a grandes distancias, también pueden la almacenar y generar energía eléctrica.
Distribución	Los distribuidores de electricidad hacia y desde los clientes. También pueden almacenar y generar electricidad.

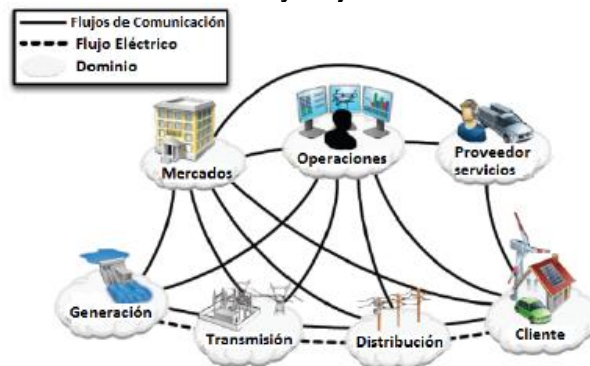
Fuente: [18]

⁸ BRYSON John, GALLAGHER Patrick. NIST Framework and Roadmap for Smart Grid Interoperability Standards. NIST. (Febrero 2012) [Consultado en Enero 2013] Disponible en: http://www.nist.gov/smartgrid/upload/NIST_Framework_Release_2-0_corr.pdf.

En el modelo, los dominios se conectan o interactúan a través de interfaces de carácter eléctrico o conexiones de comunicaciones. En la Figura 1.2, las interfaces eléctricas se muestran con líneas discontinuas amarillas y las interfaces de comunicación con líneas continuas azules. Cada una de estas interfaces puede ser bidireccional. Las interfaces de comunicación no representan necesariamente conexiones físicas sino conexiones lógicas de información entre distintos dominios.⁹

En la parte inferior del modelo se identifican las cuatro áreas funcionales en que tradicionalmente se ha subdividido la red eléctrica: generación, transmisión, distribución y usuario final, entre las cuales la energía fluye en un solo sentido, desde el punto de generación hacia el usuario final.¹⁰

Figura 1.2. Interacción entre los dominios de red inteligente a través de flujos de comunicación y flujos eléctricos.



Fuente: [18]

El modelo conceptual se compone de varios dominios, cada uno de los cuales contiene muchas aplicaciones y actores que están conectados por asociaciones, a través de interfaces.

⁹ BRYSON John, GALLAGHER Patrick. NIST Framework and Roadmap for Smart Grid Interoperability Standards. NIST. (Febrero 2012) [Consultado en Enero 2013] Disponible en: http://www.nist.gov/smartgrid/upload/NIST_Framework_Release_2-0_corr.pdf.

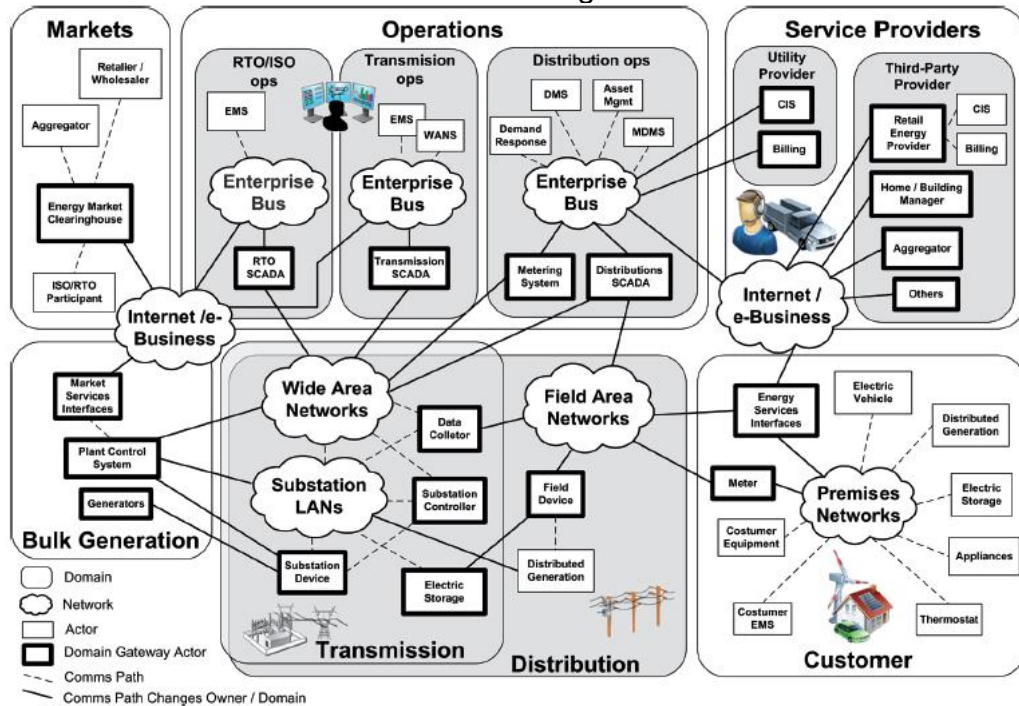
¹⁰ CORONEL, Marco. Estudio para la implementación del sistema de infraestructura de medición avanzada (AMI) en la empresa eléctrica regional centro Sur C.A. Ecuador 2011 p. 22-24.

El análisis de cada dominio y sus propias características se hará en la sección 1.1.1.2. La Figura 1.3 indica la comunicación de red de cada uno de los siete dominios a través de actores que interactúan para realizar aplicaciones de la red inteligente.

1.1.1.1 Descripción del modelo conceptual

El diagrama de referencia conceptual del NIST que se muestra en la Figura 1.3 indica la comunicación de la red en cada uno de los siete dominios a través de los actores, que están conectados por las asociaciones e interactúan para realizar aplicaciones de la red inteligente.¹¹

Figura 1.3. Diagrama de referencia conceptual para la red de información de la red eléctrica inteligente



Fuente: [18].

¹¹ BRYSON John, GALLAGHER Patrick. NIST Framework and Roadmap for Smart Grid Interoperability Standards. NIST. (Febrero 2012) [Consultado en Enero 2013] Disponible en: http://www.nist.gov/smartgrid/upload/NIST_Framework_Release_2-0_corr.pdf.

Los conceptos de los términos claves de la Figura 1.3 se describen en la Tabla 1.3.

Tabla 1.3. Conceptos claves del diagrama de referencia conceptual

Términos	Descripción
Dominio	Son los siete dominios definidos para la red eléctrica inteligente, es una agrupación de alto nivel de organizaciones, edificaciones, individuos, sistemas u otros actores que tienen objetivos similares, que se basan o participan en similares tipos de aplicaciones. La comunicación entre los actores en el mismo dominio puede tener características y requisitos similares. Los dominios pueden tener sub-dominios. Por otra parte, los dominios tienen mucha superposición de funcionalidades, como en el caso de los dominios de la transmisión y distribución. La transmisión y distribución a menudo comparten redes y por tanto, se representan como superposición de dominios. Es importante señalar que los dominios no son organizaciones.
Actor	Un actor es un dispositivo, sistema informático, programas de software o el individuo u organización que participa en la red inteligente. Los actores tienen la capacidad de tomar decisiones y el intercambio de información con otros actores a través de interfaces. Las organizaciones pueden tener actores en más de un dominio. Los actores que se muestran aquí son un ejemplo representativo, pero no son todos los actores de la Smart Grid. Cada actor puede existir en diferentes variedades y en realidad pueden contener otros actores dentro de ellos.
Aplicaciones	La toma de decisiones e intercambio de información sirven para ejecutar las aplicaciones, las cuales son tareas realizadas por los actores de uno o más dominios, las aplicaciones más comunes pueden ser la automatización del hogar, generación de energía solar, almacenamiento de energía, gestión de la energía, entre muchas otras.
Enlace entre actores (Gateway)	Representan un enlace entre un actor en un dominio que interactúa con actores en otros dominios o en otras redes. Los enlaces entre actores pueden utilizar una variedad de protocolos de comunicación, por lo tanto, es posible que un Gateway pueda utilizar un protocolo de comunicación diferente a otro actor en el mismo dominio o utilice múltiples protocolos simultáneamente.
Red de información	Una red de información es una colección, o conjunto de computadores interconectados, dispositivos de comunicación e información y tecnologías de comunicaciones. <i>Smart grid</i> consiste en muchos diferentes tipos de redes, estas incluyen: bus empresarial, red de área amplia (<i>Wide Area Networks</i>) conectan sitios geográficamente distantes, red de área de campo (<i>Field Area Networks</i>) que conectan los dispositivos de campo

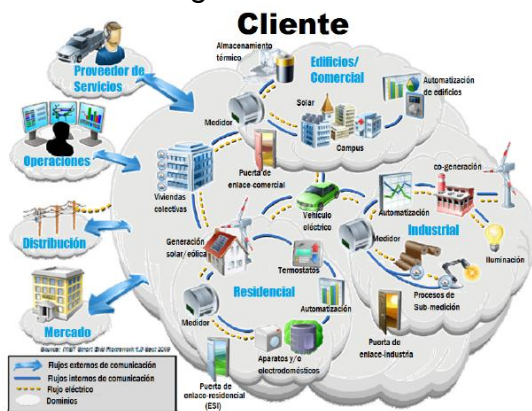
	tales como los dispositivos electrónicos Inteligentes (IEDs) que controlan interruptores y transformadores y la red de los predios que incluyen redes de los clientes, así como redes de las empresas de servicio públicos dentro del dominio del cliente. Estas redes pueden ser implementadas usando las redes públicas y privadas en combinación.
Rutas comunes de acceso (Comunicaciones)	Muestra el intercambio lógico de los datos entre los actores o entre los actores y redes. Son rutas de comunicación de la Figura 1.3

Fuente: [18]

1.1.1.2 Dominios del modelo conceptual de referencia

a. *Dominio del cliente:* El cliente es la última instancia de la red inteligente ya que en este dominio la energía es consumida. Los actores de este dominio interactúan para facilitar aplicaciones que permitan a los clientes gestionar su propia energía, es decir brinda opciones para tomar decisiones sobre sus consumos y su propia generación de energía, adicionalmente algunos actores posibilitan el intercambio de información entre el dominio cliente y los otros dominios. Los límites de este dominio generalmente son el medidor eléctrico que pertenece a la empresa de servicios públicos y la interfaz de servicios de energía (ESI).¹²

Figura 1.4. Visión general de dominio del cliente



Fuente: [18]

¹² CORONEL, Marco. Estudio para la implementación del sistema de infraestructura de medición avanzada (AMI) en la empresa eléctrica regional centro Sur C.A. Ecuador 2011 p. 28-30

b. Dominio del mercado: En este dominio se realiza las transacciones de compra y venta de energía, por lo cual sus actores ejecutan tareas para intercambiar precios, equilibrar la oferta y demanda de energía. Los límites del dominio del mercado son el dominio de las operaciones, generación, transmisión y cliente.¹³

Figura 1.5. Visión general del dominio del mercado.



Fuente: [18]

c. Dominio de proveedor de servicios: Este dominio contiene actores que prestan servicios para soportar los procesos de negocios de los dominios de generación, transmisión, distribución y cliente, estos procesos de negocios se refieren a: facturación, manejo de las cuentas de los clientes, servicio al cliente, entre otros, es decir corresponde a la gestión comercial de la energía. En este dominio también se pueden realizar tareas más avanzadas como la gestión del uso de energía del cliente y generación a nivel residencia.¹⁴

¹³ CORONEL, Marco. Estudio para la implementación del sistema de infraestructura de medición avanzada (AMI) en la empresa eléctrica regional centro Sur C.A. Ecuador 2011 p. 30–34

¹⁴ BRYSON John, GALLAGHER Patrick. NIST Framework and Roadmap for Smart Grid Interoperability Standards. NIST. (Febrero 2012) [Consultado en Enero 2013] Disponible en: http://www.nist.gov/smartgrid/upload/NIST_Framework_Release_2-0_corr.pdf. p. 211 –225

Figura 1.6. Visión general del dominio de proveedor de servicio.



Fuente: [18]

d. *Dominio de operaciones*: Todos los actores que se encuentran contenidos en este dominio son responsables del correcto funcionamiento del sistema eléctrico en general. Los actores de este dominio no se encuentran en una sola organización o empresa como tal, además comparten operaciones en diferentes dominios como por ejemplo en el dominio de la transmisión se utilizan los sistemas de gestión de energía para asegura la confiabilidad y eficiencia de la red de transmisión, por otra parte en el dominio de la distribución se utilizan sistemas de gestión de la distribución para analizar y realizar las tareas correspondientes.¹⁵

Figura 1.7. Visión general del dominio de operaciones.

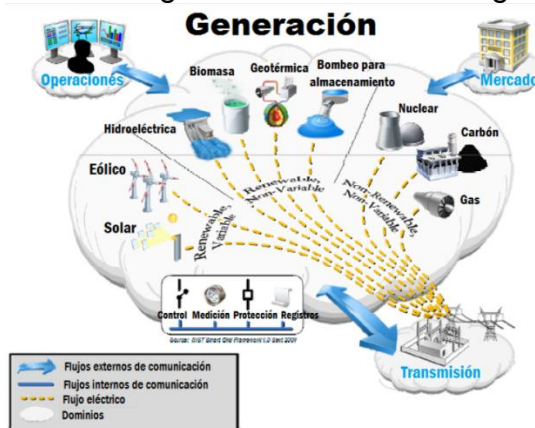


Fuente: [18]

¹⁵ CORONEL, Marco. Estudio para la implementación del sistema de infraestructura de medición avanzada (AMI) en la empresa eléctrica regional centro Sur C.A. Ecuador 2011 p. 34 – 35

e. *Dominio de generación*: Las aplicaciones del dominio de la generación corresponden a los primeros procesos que se realizan para entregar la electricidad a los clientes, esto se detalla en la Figura 1.8. Este dominio realiza el proceso de generación de energía a través de la utilización de otras fuentes primarias que se utilizan para este propósito.¹⁶ El dominio de generación está conectado eléctricamente al dominio de la transmisión, siendo este su límite, además mantiene comunicaciones con los dominios de las operaciones, mercados y transmisión.

Figura 1.8. Visión general del dominio de generación.



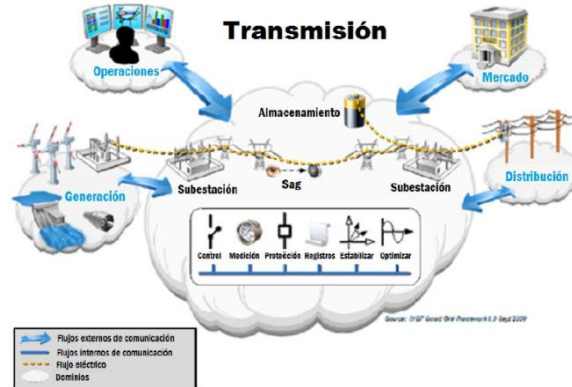
Fuente: [18]

Al existir la conexión física entre el dominio de la generación y transmisión las comunicaciones e interfaces entre estos dominios son críticas para mantener la cadena de entrega de energía al cliente. Los correspondientes operadores dentro de este dominio debe comunicar el rendimiento, calidad, la insuficiencia de generación solar y eólica principalmente, y fallas de los generadores con el objeto de buscar opciones mediante otras fuentes de energía para bastecer el dominio de transmisión.

¹⁶ BRYSON John, GALLAGHER Patrick. NIST Framework and Roadmap for Smart Grid Interoperability Standards. NIST. (Febrero 2012) [Consultado en Enero 2013] Disponible en: http://www.nist.gov/smartgrid/upload/NIST_Framework_Release_2-0_corr.pdf. p. 211 -225

f. *Dominio de transmisión:* En este dominio se realiza el transporte masivo de energía desde los generadores hasta las subestaciones de distribución, por lo que existe una conexión eléctrica hacia el dominio de generación y distribución.¹⁷

Figura 1.9. Visión general del dominio de transmisión.



Fuente: [18]

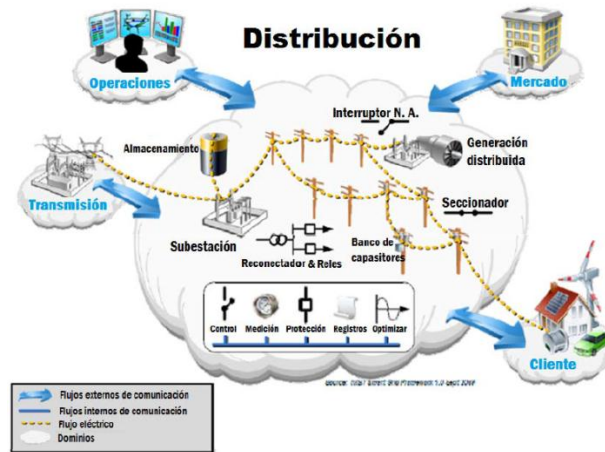
Este dominio puede disponer de recursos energéticos distribuidos por lo que se puede encontrar sistemas de almacenamiento de energía o unidades de generación que funcione en horas pico.

g. *Dominio de distribución:* Este dominio está conectado eléctricamente al dominio de transmisión y cliente, adicionalmente este dominio contiene sistemas de almacenamiento de energía, generación distribuida y conecta los sistemas de medición del consumidor (Medidor inteligente).¹⁸

¹⁷ CORONEL, Marco. Estudio para la implementación del sistema de infraestructura de medición avanzada (AMI) en la empresa eléctrica regional centro Sur C.A. Ecuador 2011 p. 37 – 38

¹⁸ CORONEL, Marco. Estudio para la implementación del sistema de infraestructura de medición avanzada (AMI) en la empresa eléctrica regional centro Sur C.A. Ecuador 2011 p. 38 – 39

Figura 1.10. Visión general del dominio de distribución.



Fuente: [18]

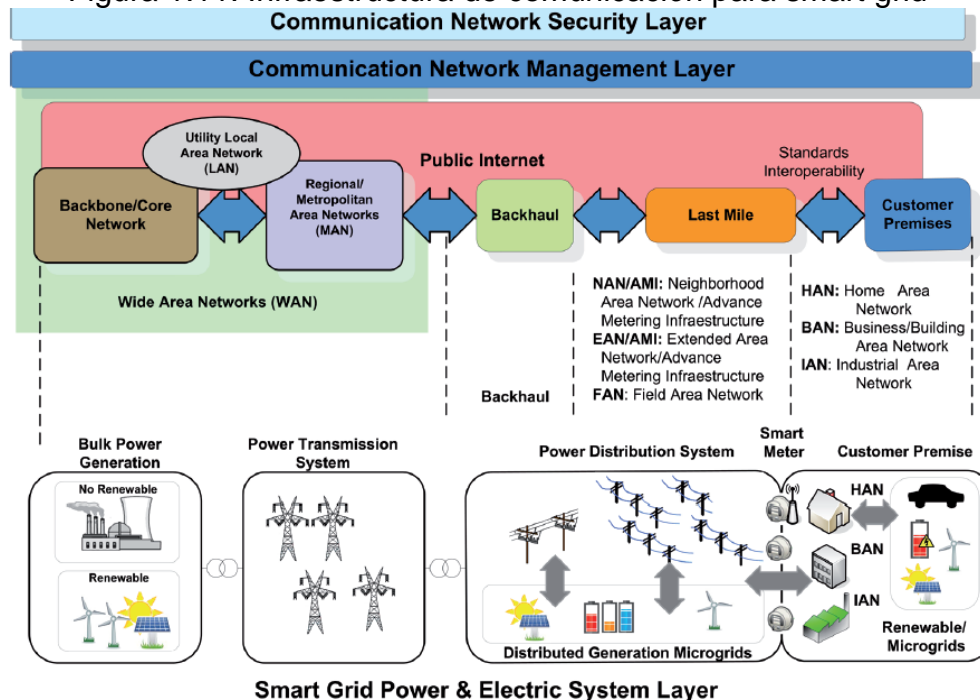
En el futuro el dominio de distribución será objeto de un constante intercambio de información en tiempo real con el dominio de las operaciones para gestionar el posible intercambio de flujos de energía.

1.1.2 Arquitectura de comunicaciones de smart grid

La arquitectura de comunicaciones de redes eléctricas inteligentes combina una gran variedad de tecnologías, en que dichos subsistemas requieren interfaces bien definidas y armonizadas con los estándares existentes.¹⁹ Como se observa en la Figura 1.11.

¹⁹ DÍAZ Carlos, HERNÁNDEZ Juan. Smart Grid: Las TICs y la modernización de las redes de energía eléctrica - Estado del Arte. Cali 2011 p. 65 - 66.

Figura 1.11. Infraestructura de comunicación para smart grid



Fuente: [18]

Los elementos básicos de esta arquitectura de comunicaciones son:²⁰

- **Customer Premise:** Una vivienda individual, un edificio y una empresa, requiere respectivamente una HAN (*Home Area Network*), una BAN (*Building Area Network*) o una IAN (*Industrial Area Network*). Bajo el título de HAN se agrupan las tres. Una HAN es una red de comunicaciones de corto alcance que conecta electrodomésticos y otros dispositivos en el entorno de una vivienda o edificio. Al combinar las HAN con la infraestructura AMI los consumidores podrán monitorizar su uso de energía a través de pantallas instaladas en sus hogares o programar sus termostatos o sistema de aire acondicionado en función del precio de la energía, y a las compañías se les garantizará el acceso directo a las cargas, lo que les permitirá gestionar de forma más eficiente su demanda.

²⁰ DÍAZ Carlos, HERNÁNDEZ Juan. Smart Grid: Las TICs y la modernización de las redes de energía eléctrica - Estado del Arte. Cali 2011 p. 66 -67.

- **Última milla (*last mile*):** Son redes de comunicaciones de dos vías tanto inalámbricas como cableadas superpuestas al sistema de distribución de energía. Una parte integral del éxito de *smart grid* estará determinado por la capacidad de la red de distribución para soportar cambios en los procesos de negocio que resultan de metas como la eficiencia energética, la respuesta de la demanda, de las exigencias regulatorias, así como de la posibilidad de integración de recursos distribuidos.

En el segmento de última milla se pueden definir las redes NAN y FAN o la infraestructura AMI, según las características del sistema de red del proveedor de servicios, el tipo de servicios ofrecidos, la topología de red, la demografía y la tecnología utilizada por el proveedor. Una NAN proporciona cobertura en un área geográfica limitada, que habitualmente se extiende por varios edificios.

- **Backhaul:** Es el sistema que conecta la red WAN a la red de última milla. Agrega y transporta datos de la red de telemetría de los usuarios finales, parámetros críticos de control de las subestaciones e información de campo de los dispositivos de la red de distribución.
- **Wide Area Networks (WAN):** Cubren áreas más amplias y por lo general integran varias redes de menor tamaño, que usan diferentes sistemas de comunicación. Se componen de la red de núcleo o red troncal y de la red de área metropolitana (MAN), que en conjunto conectan la mayoría de los servicios de las redes troncales de los distintos proveedores de servicio a lo largo de las líneas de transmisión eléctrica de alta potencia –o usando radioenlaces–. La elección de una u otra tecnología depende de factores como la confiabilidad, el costo, la seguridad y la infraestructura disponible.

1.2 SISTEMAS DE MEDICIÓN INTELIGENTE

El sistema de medición inteligente conocida como *smart metering*, soporta el intercambio de información además establece una comunicación bidireccional, a través de una infraestructura de telecomunicaciones entre el cliente y la empresa de servicios públicos (electricidad, agua, gas), de esta manera permite la adquisición, transmisión, almacenamiento, procesamiento y gestión de la información de consumo de energía, datos y parámetros adicionales relacionados al servicio [28], estas tareas se ejecutan en tiempo real o cercano a este rango, lo cual es fundamental para la futura transición a la red inteligente.

El elemento principal de los sistemas de medición inteligente es el medidor inteligente (*smart meter*), este dispositivo puede leer información en tiempo real y comunicación de forma segura.²¹

Existen dos tipos de sistemas de medición inteligente los cuales se describen a continuación.

1.2.1 Lectura automática del medidor (*Automatic Meter Reading*)

Esta tecnología permite operaciones de tele-medición y tele-gestión, lo cual contribuye la toma de lecturas de manera remota de los consumos de electricidad, agua y gas para fines de facturación y también se posibilita el análisis de los consumos en tiempo real.²²

Además permite que las empresas proveedoras de servicios públicos realicen acciones de control tales como corte y reconexión del suministro y mayor capacidad sobre la recolección de parámetros y datos.

²¹ REDDY Soma, WANG Lingfeng, DEVABHAKTUNI Vijay. Smart Meters for Power Grid – Challenges, Issues, Advantages and Status, Toledo 2011.

²² CORONEL, Marco. Estudio para la implementación del sistema de infraestructura de medición avanzada (AMI) en la empresa eléctrica regional centro Sur C.A. Ecuador 2011 p. 61

1.2.2 Infraestructura de medición avanzada (*Advanced Metering Infrastructure*)

La infraestructura de medición avanzada plantea una infraestructura de comunicación bidireccional que permite el intercambio de información entre la empresa proveedora de energía y el medidor inteligente ubicado en el predio del consumidor.²³ Esta tecnología además de realizar las funcionalidades de los sistemas AMR, también recolecta información adicional acerca del consumo energético y otros parámetros eléctricos.

La infraestructura de medición de avanzada, fue definida por la comisión federal de regulación (Federal Energy Regulatory Commission, FERC, 2008) como *“Un sistema que recoge información del consumo (y otros posible parámetros) de los consumidores de cada hora o más frecuentemente y provee transmisión de los mismos mediante una red de comunicación a un punto de recolección de datos, diariamente o más frecuentemente”*

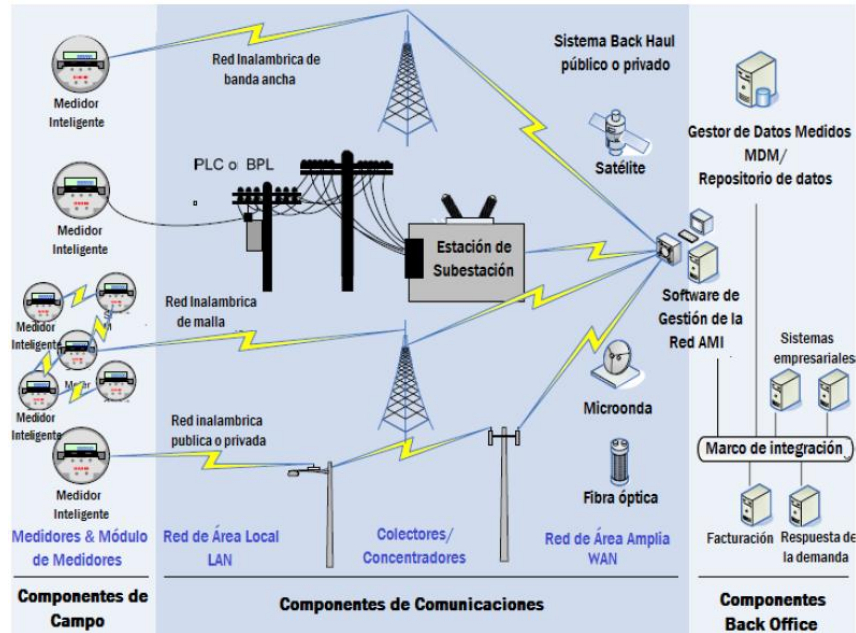
La implementación del sistema AMI ofrece mayores ventajas y múltiples opciones en relación a AMR, la evolución de los sistemas de medición ha sido constante y la solución AMI se considera como uno de los primeros pasos para la transición a la red inteligente.

Los componentes de la infraestructura del sistema AMI²⁴ se consideran en tres partes principales como se observa en la Figura 1.12.

²³ DÍAZ Carlos, HERNÁNDEZ Juan. Smart Grid: Las TICs y la modernización de las redes de energía eléctrica - Estado del Arte. Cali 2011. p. 58 -59

²⁴ CORONEL Marco. Estudio para la implementación del sistema de infraestructura de medición avanzada (AMI) en la empresa eléctrica regional centro Sur C.A. Ecuador 2011 p. 64

Figura 1.12 Infraestructura del sistema AMI.



Fuente: [28]

Además la infraestructura de medición avanzada requiere de la integración de los siguientes sistemas:²⁵

- Un sistema seguro de almacenamiento de los datos de consumo de los usuarios y de los eventos del sistema.
- Un sistema de comunicación que incorpore diferentes estándares de comunicación que permitan la monitorización y control en tiempo real. Algunos de los posibles estándares de comunicación son: DLC, HAN, PLC, GSM/GPRS, ZigBee, WiMax.
- Un sistema que gestione ordenes remotas, respuestas a eventos, control de carga, seguimiento de la demanda, medición multi-servicios y precio en tiempo real.
- Una interfaz del usuario con diferentes alternativas, para que el usuario tenga acceso a la información. La complejidad y cantidad de variables

²⁵ ARCHILA Gustavo, GÓMEZ Walter. Caracterización tecnológica de la topología de un sistema de gestión energético residencial, 2012. Trabajo de grado. Universidad Industrial de Santander. p 23

manejadas en la infraestructura, demandan interfaces de usuario concisas y en diferentes escenarios tanto para usuarios finales como para operadores de red.

- Un sistema de procesamiento y recolección de datos que permita la lectura y procesamiento de eventos como: tensiones eléctricas, corrientes, frecuencia, potencia activa y reactiva, calidad de la energía, pérdidas de potencia, así como respuesta del usuario a requerimientos de la demanda.

1.2.2.1 Infraestructura de medición avanzada

La infraestructura de medición avanzada (AMI) está dividida en cuatro niveles que se describen a continuación.²⁶

- El **nivel 1**: es la capa superior de la infraestructura y corresponde al centro de gestión de datos y al centro de manejo de comunicaciones. La estación principal posee equipos de red, servidores y diversos terminales de gestión
- El **nivel 2**: es la capa de acceso, la cual provee comunicación en la estación principal con los medidores inteligentes. En este canal se provee los canales de comunicación que hacen posible la comunicación bidireccional entre las empresas proveedoras de energía y los usuarios.
- El **nivel 3**: corresponde a la medida y distribución de acceso a puntos de potencia requeridos. En este nivel se ubican: los medidores inteligentes, los terminales portátiles y los sistemas de generación distribuida. Los medidores inteligentes son el equipo principal de este nivel, debido a las múltiples funciones que debe realizar y que corresponden a: la medida del consumo energético, transmisor de la señal de precio de la energía, el corte y la reconexión de cargas, la monitorización del sistema y la transmisión constante de estos parámetros.

²⁶ ARCHILA Gustavo, GÓMEZ Walter. Caracterización tecnológica de la topología de un sistema de gestión energético residencial, 2012. Trabajo de grado. Universidad Industrial de Santander. p 24.

- El **nivel 4**: es el dominio del cliente, está situado dentro de los hogares y corresponde a los sistemas de gestión energética residencial, los cuales mediante el medidor inteligente tienen un vínculo de interacción con la empresa proveedora de servicios. Los usuarios están equipados con la infraestructura para: conocer el consumo desagregado de energía eléctrica en tiempo real, el consumo de gas y agua, recibir mensajes de alerta de las empresas proveedoras de servicios en aplicaciones como respuesta de la demanda, sistema de alerta de falla y mantenimiento. También es posible la integración del funcionamiento de electrodomésticos a la señal de precio de energía transmitida por el medidor con el fin de ahorrar en costo y consumo.

1.3 RED INTELIGENTE DOMESTICA

Un hogar inteligente (*smart home*) es la integración de diferentes servicios y componentes dentro de un edificio residencial utilizando sistemas de comunicación comunes, capaces de soportar operaciones seguras y económicas, además de brindar confort y gestión de la carga según las preferencias del usuario.

Actualmente, esta tecnología incluye avanzadas tecnologías y dispositivos electrónicos que se encargan de realizar tareas que han sido previamente programadas para que respondan de una manera determinada en situaciones que tendrán que afrontar en el momento que los ocupantes del hogar lo soliciten, todos estos dispositivos tienen como propósito principal que los ocupantes de la vivienda permanezcan en un ambiente agradable con comodidades y con el mínimo de preocupaciones, estos dispositivos cumplen una importante labor de seguridad en el momento en que los ocupantes de la vivienda salen, un Smart Home se

encuentra programado para informarle a los dueños y a la policía en el momento que alguien ingrese dentro de la residencia.²⁷

Todos los equipos que integran un smart home están interconectados entre sí permitiendo la comunicación entre todos ellos, las redes de acceso son las que habilitan la comunicación de la vivienda con el exterior proporcionándole a los dueños de la residencia un seguimiento continuo de lo que pasa en el interior de la misma.²⁸ Las redes domésticas son todas las interconexiones que permiten la comunicación entre todo el conglomerado de dispositivos que conforman la estructura interna de la casa, la integración de las redes de acceso con las redes domésticas se denomina pasarela residencial la que permite la comunicación de los dispositivos internos con los externos

1.3.1 Aplicaciones de la funcionalidad de un hogar inteligente

La infraestructura de comunicación y control de un hogar inteligente, permite gran variedad de aplicaciones de diferentes requerimientos y beneficios, existen tres categorías de aplicaciones.²⁹

- a. Protección y seguridad:** incluye sistemas de alarma y monitorización, operaciones seguras de equipos técnicos o asistencia médica en caso de emergencia o usuarios con limitaciones.
- b. Confort, comunicación y entretenimiento:** sistemas programables de control de iluminación, persianas, puertas y diferentes clases de dispositivos residenciales, dispositivos de entretenimiento como radio, televisión teatro en casa y dispositivos Wi-Fi e integración de los diferentes protocolos de comunicación dentro de una red casera elocuente.

²⁷ HARPER Richard. Inside the Smart Home. Londres 2003 p.31

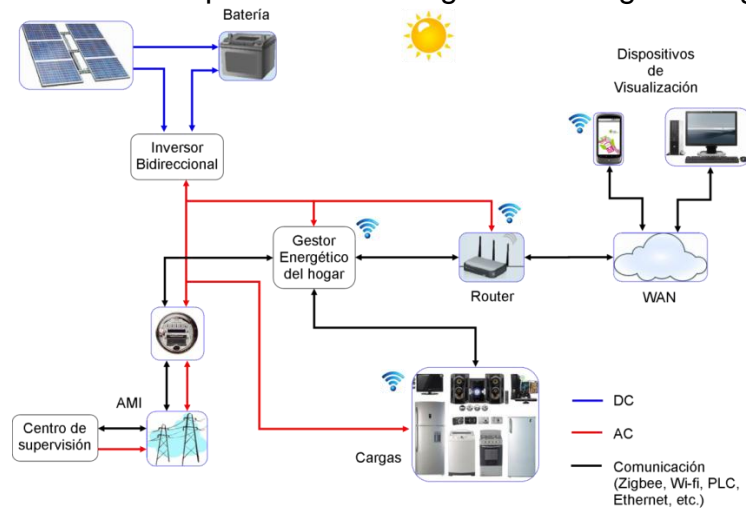
²⁸ DOMÍNGUEZ Hugo, SAÉZ Fernando. Domotica: Un enfoque sociotécnico. Madrid 2006. p. 13.

²⁹ ARCHILA Gustavo, GÓMEZ Walter. Caracterización tecnológica de la topología de un sistema de gestión energético residencial, 2012. Trabajo de grado. Universidad Industrial de Santander. p 24.

- c. **Gestión energética:** uso eficiente en el control de cargas en climatización de edificaciones (Heat Ventilation and Air Conditioning, HVAC), monitorización y control del consumo desagregado de energía eléctrica e integración de servicios complementarios con la empresa prestadora del servicio.

En la Figura 1.13, se observa la forma en la que están incorporados en la vivienda los diferentes tipos de tecnologías que constituyen un hogar inteligente, estas tecnologías proporcionan una variedad de beneficios, entre los que se encuentra la producción de energía eléctrica basada en las necesidades personales, además este tipo de vivienda incorpora una red de comunicaciones que conecta todos los dispositivos eléctricos, lo que permite una mayor integración de todo el sistema.

Figura 1.13. Concepto de la tecnología de un hogar inteligente.



Fuente: Autores.

El sistema presenta las siguientes características³⁰:

- Los beneficios potenciales están representados en un menor costo de la energía, energía más limpia, fiabilidad del sistema, una mayor conservación y eficiencia energética.

³⁰ SMITH Jonathan. Smart grid city (Marzo 2008) [Consultado en Marzo 2012] Disponible en: <http://jcwinnie.biz/wordpress/?p=2846>

- La opción de un vehículo híbrido eléctrico enchufable (Plug-in hybrid electric car) es una forma de comenzar a colaborar con el medio ambiente, este vehículo híbrido eléctrico tiene baterías que pueden ser recargadas enchufando el vehículo a una fuente externa de energía eléctrica, en ciertos momentos actúa como generador de respaldo para los hogares.
- Los medidores inteligentes permiten tener acceso en tiempo real de cuanta energía eléctrica se consume y tener el respectivo precio del kwh consumido, lo cual crea mayor confianza en los usuarios.
- Utilización de electrodomésticos inteligentes con dispositivos que se comunican con la red, como lo pueden ser, una lavadora, un horno, un refrigerador, un lavavajillas y una aspiradora entre otros, estos son capaces de hacer cosas asombrosas. Por ejemplo: la lavadora tiene un medidor inteligente que aconseja lavar justo en la hora en que la electricidad tiene la tarifa más baja. Si esto ocurre cuando la dueña de casa está en la oficina, no hay problema, porque le puede enviar una orden de que funcione.
- El uso de termostato inteligente permite comunicarse con la red y ajustarla configuración del dispositivo para ayudar a optimizar la carga magnética.
- Un sistema solar fotovoltaico para generar electricidad para consumir en el hogar o inyectarla a la red de distribución eléctrica.

1.3.2 Sistema de gestión energética residencial

En los últimos años ha surgido un nuevo concepto denominado *Home Energy Management System* (HEMS), la idea de este nuevo concepto consiste en administrar el uso de energía para lograr un equilibrio entre el ahorro de energía y un estilo de vida confortable en el hogar con la ayuda de la utilización de las fuentes alternativas de energía.

HEMS es la solución ideal para monitorizar de forma cómoda la instalación y gestionar de manera inteligente la energía. Ofrece una vista general de todos los

flujos energéticos del hogar, indica recomendaciones de manejo y también permite controlar el consumo de forma automática a través de enchufes inalámbricos.

Además de reducir el consumo de energía mediante pronósticos, recomendaciones, sensores y otros tipos de información para identificar los puntos en los cuales se realiza un consumo innecesario de energía y en consecuencia realizar un control de los aparatos electrodomésticos, HEMS también trabaja activamente para hacer un uso eficiente de la energía eléctrica, por ejemplo, la operación de los calentadores de agua o el encendido de una lavadora en momentos en que los paneles solares están en su máximo de generación.³¹

1.3.2.1 Características HEMS en el contexto de un sistema de gestión energético.

Los sistemas de gestión requieren ciertas características para operar en un nivel de acoplamiento adecuado e interactuar de manera eficiente con los dispositivos, entre las características más importantes se encuentran³²:

- Soporte de varios dispositivos o actuadores en la red, al igual que a dispositivos emergentes.
- Monitorización desagregada y continua del consumo energético en el hogar.
- Control manual y remoto de actuadores.
- Integración de fuentes de generación renovable, como energía solar y eólica.

³¹ Hitachi Ltd. Home energy management systems (HEMS) [Consultado en Febrero 2013] Disponible en: <http://www.hitachi.com/products/smartcity/solution/hems/index.html>.

³² ARCHILA Gustavo, GÓMEZ Walter. Caracterización tecnológica de la topología de un sistema de gestión energético residencial. 2012. Trabajo de grado. Universidad Industrial de Santander. p 18.

Soporte a la integración con otros dominios como el sistema de distribución para la implementación de programas de energía inteligente (tarifa diferencial y respuesta a la demanda).

HEMS describe una clase de tecnologías, incluyen sensores, termostatos inteligentes y dispositivos de retroalimentación que intentan gestionar los perfiles de consumo residenciales de energía para reducir la demanda eléctrica pico y las facturas de electricidad de los consumidores. Un número cada vez mayor de productos HEMS y empresas han surgido en la última década, que van desde pantallas básicas de energía de los sistemas de control para todo el hogar y aplicaciones de teléfonos inteligentes.

Se presenta una taxonomía de productos HEMS residenciales que proporciona un marco sobre qué áreas de HEM tienen el mayor potencial para resultar en un amplio despliegue, la participación de los consumidores y el ahorro de energía en el futuro. Las tres categorías básicas son³³:

- Dispositivos de control
- Interfaces de usuario
- Tecnologías de apoyo

- **Los dispositivos de control:** permiten que el consumidor o a la empresa prestadora del servicio público controlar activamente el uso de energía, con diferentes grados de automatización y con ayuda humana. Existen diferentes niveles de control en un sistema HEMS:

- Centralizado, que se comunica con múltiples dispositivos en el hogar y permite al usuario realizar gestión desde una única ubicación.
- A nivel de dispositivo, en donde el usuario controla un solo dispositivo o una función.

³³ LAMARCH Janelle, CHENEY Katherine, ROTH Kurt, SANCH Olga. Home Energy Management: Product & Trends. Fraunhofer 2012.

- En el tablero, el cual la función de control está integrada en el dispositivo.

- **La interfaz de usuario:** proporciona retroalimentación de energía a los consumidores. La interfaz de usuario básica, también conocido como retroalimentación directa, proporcionan información sin procesamiento limitada a los habitantes, tales como tiempo real o históricos de datos sobre el consumo de energía (en kWh, pesos/ hora, watts / hora, etc.).

La interfaz de usuario con los datos procesados, también conocida como retroalimentación indirecta, tiene el potencial de ofrecer a los usuarios una mejor idea de la importancia personal del uso de los datos básicos y la forma de actuar en base a esa información. Algunos ejemplos de información procesada incluyen: el consumo de energía por uso final, consumo desagregado por circuito o dispositivo, comparaciones históricas tendencias, recomendaciones específicas, y el establecimiento de metas. Otro atributo importante de interfaces de usuario es el medio de visualización de información, los cuales pueden ser³⁴:

- *Home Energy Display*, pantalla independiente, a menudo portátil.
- Portal en internet.
- Aplicaciones para *smartphone*.
- Otros (por ejemplo, TV).

- **Las tecnologías de apoyo:** son el marco subyacente que soporta la obtención, procesamiento y comunicación de información sobre el uso de energía. Las tecnologías de apoyo no son sistemas de gestión de energía del hogar por sí mismas, sino que son parte integral de su función. Entre las tecnologías de apoyo se encuentra:

- Los sensores
- Los dispositivos de adquisición de datos

³⁴ LAMARCH Janelle, CHENEY Katherine, ROTH Kurt, SANCH Olga. Home Energy Management: Product & Trends. Fraunhofer 2012.

- Los protocolos y estándares de comunicación.

El sensado de datos implica la adquisición de información, a menudo integrados en los sistemas HEMS, sobre las variables dinámicas relacionada con el sistemas. Los medidores inteligentes reúnen datos temporales sobre el uso de la electricidad. Los sensores de temperatura y sensores de ocupación caracterizan el entorno del hogar. Información sobre el consumo de energía eléctrica y la temperatura, combinada con información externa, tal como la hora del día y el tiempo de datos, se puede utilizar para personalizar la gestión de energía para una vivienda individual.

Los protocolos y estándares de comunicaciones facilitan las comunicaciones y puede apoyar a la red doméstica. Gateway son dispositivos que conectan la red HAN a Internet. Los extensores de rango amplifican las señales para ampliar el área cubierta por una sola red.³⁵

1.3.3 Componentes de comunicación

Los sistemas de comunicación en un hogar inteligente brindan variedad de funciones y proporcionan la capacidad de interactuar con nuevos dispositivos que se han desarrollado y se siguen desarrollando con el fin de mejorar la calidad de vida de las personas dentro de los hogares.

En la actualidad el número de dispositivos que utilizan algún sistema de comunicación es bastante amplio al igual que lo son los protocolos de comunicación que se desarrollan por las diferentes empresas.

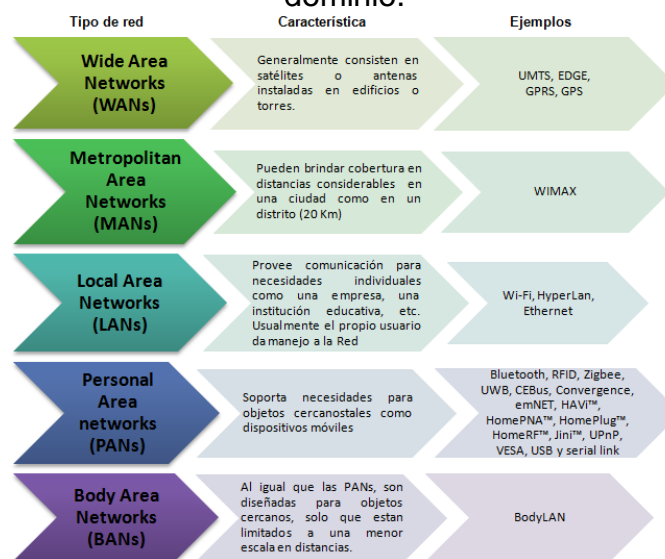
Las redes de comunicaciones deben satisfacer las necesidades de lograr comunicación dentro de la casa y de conectar el hogar inteligente con la red

³⁵ LAMARCH Janelle, CHENEY Katherine, ROTH Kurt, SANCH Olga. Home Energy Management: Product & Trends. Fraunhofer 2012.

inteligente del sistema de distribución³⁶. Este tipo de redes de comunicación puede variar dependiendo del propósito.

Algunas características de los diferentes tipos de redes de comunicación y los protocolos comerciales más utilizados se muestran en la Figura 1.14. Las diferentes clases de redes se definen según sus dominios que se extienden desde WANs (*Wide Area Networks*) hasta las BANs (*Body Area Networks*).³⁷

Figura 1.14. Características y ejemplos de los diferentes tipos de redes según su dominio.



Fuente: [17]

1.3.3.1 Comunicación maquina- maquina (M2M)

La comunicación M2M permite soportar el flujo de datos entre maquinas, e implícitamente maquina-usuario. Los dispositivos M2M se caracterizan por su bajo consumo energético y por la poca intervención humana necesaria para que la red

³⁶ ARCHILA Gustavo, GÓMEZ Walter. Caracterización tecnológica de la topología de un sistema de gestión energético residencial, 2012. Trabajo de grado. Universidad Industrial de Santander. p 28.

³⁷ Revista dSPACE. Smart home: Self-sufficient with the wind and the sun. (Diciembre 2012) [Consultado: Febrero 2013] Disponible en: http://www.dspace.com/shared/data/bkm/Magazin2012-02_en/blaetterkatalog/.

opere, en la mayoría de los casos los dispositivos se comunican automáticamente con otros dispositivos y con el sistema de control central.

Sin importar el tipo de maquina o dispositivo la transmisión de datos es usualmente en la misma forma: los datos fluyen de una maquina sobre una red, y después a través de una Gateway van a un centro de manejo de datos donde quedas disponibles a otra máquina o al usuario.

La implementación de cada red M2M es única. Pero existen cuatro estados comunes en casi cada aplicación³⁸:

- Recolección de datos.
- Transmisión de los datos seleccionados a través de la red de comunicación.
- Valoración de los datos.
- Respuesta a la información disponible.

Arquitectura de la red M2M: Dentro de las diversas aplicaciones de la tecnología M2M, se encuentra la integración de tecnologías y dispositivos en los hogares inteligentes, tales hogares están equipados con aplicaciones como: seguridad y monitorización, control de iluminación, control de temperatura, electrodomésticos inteligentes, sistemas de entretenimiento y sistemas de gestión de avanzada, que necesitan una red local que les permita la comunicación permanente.

- **Protocolos de comunicación M2M**

El número de aplicaciones y dispositivos actualmente soportados por la tecnología M2M es amplio, como lo es también el número de protocolos de comunicación, y cada uno difiere según la aplicación para la que fue diseñado. A continuación se

³⁸ STARSINIC M. System architecture challenges in the home M2M network. Farmingdale 2010.

presentan los protocolos inalámbricos y por cable mejor posicionados en la actualidad para integración de componentes en los hogares inteligentes³⁹.

a. ZigBee Networks (IEEE 802.15.4)

El protocolo IEEE 802.15.4 es el protocolo mejor aceptado en comunicación de baja potencia M2M, ideal para aplicaciones en edificaciones residenciales.⁴⁰

El estándar IEEE 802.15.4 establece una capa física y una MAC para manejar: ciclos largos de trabajo, bajo rendimiento y baja potencia de dispositivos inalámbricos.

El protocolo es simple, se implementa con un microprocesador de 8 bits, no necesita establecer caminos de ruta o topología de la red; se basa en definir protocolos de comunicación “peer to peer” (P2P). Estas características permiten la creación de rutas eficientes, al igual que la flexibilidad para que sea usado en diferentes tipos de topologías.

Características de ZigBee:

- Tasa máxima de transmisión de datos: 250 kb/s
- Rango de cobertura en interiores: 10-20 [m] extendible mediante enrutamiento multi-hop.
- Consumo de potencia: bajo ultra bajo.
- Banda de frecuencia: 2.4 GHz -868 MHz y 912 MHz

b. Bluetooth (IEEE 802.15.1)

Bluetooth es el nombre común de la especificación industrial IEEE 802.15.1, que define un estándar global de comunicación inalámbrica que posibilita la transmisión de voz y datos entre diferentes dispositivos mediante un enlace por

³⁹ STARSINIC M. System architecture challenges in the home M2M network. Farmingdale 2010.

⁴⁰ VALVERDE Jorge. El estándar inalámbrico ZigBee. Universidad Nacional de Trujillo. Trujillo 2007.

radiofrecuencia segura, globalmente y sin licencia de corto rango. Bluetooth es utilizado en aplicaciones que demandan una mayor tasa de transmisión de datos.

El protocolo Bluetooth tiene un desarrollo en redes llamados piconets que permite la comunicación entre 8 dispositivos al mismo tiempo y métodos de respaldo a la adición de nuevos dispositivos a la red o la comunicación entre piconets que de algún modo dan características escalables al protocolo.

Características de Bluetooth⁴¹:

- Tasa máxima de transmisión de datos: básico 1 Mb/s, mejorado 3 Mbps
- Rango de cobertura en interiores: 1-10-100 [m]
- Consumo de potencia: medio.
- Banda de frecuencia: 2.4 GHz

c. Wi-Fi (IEEE 802.11)

Wi-Fi (o Wi-fi, WiFi, Wifi, wifi) es un conjunto de estándares para redes inalámbricas basados en las especificaciones IEEE 802.11. Creado para ser utilizado en redes locales inalámbricas, es frecuente que en la actualidad también se utilice para acceder a Internet.

Es un conjunto de estándares para redes inalámbricas basados en las especificaciones IEEE 802.11. Creado para ser utilizado en redes locales inalámbricas, es frecuente que en la actualidad también se utilice para acceder a Internet.

⁴¹ DOMOPRAC. Protocolo de red: tipos y utilidades (Marzo 2008) [Consultado en Diciembre 2012. Disponible en: <http://www.domoprac.com/protocolos-de-comunicacion-y-sistemas-domoticos/protocolos-de-red-tipos-y-utilidades.html>

Algunos dispositivos Wi-Fi son denominados de baja potencia, reducen la tasa de transferencia de datos, el tiempo de recepción permitido y cuando la comunicación es no necesaria el dispositivo pasa a modo stand-by donde solo operan los relojes de baja frecuencia con el único propósito de mantener programados los tiempo de sincronización.

Características de Wi-Fi⁴²:

- Tasa máxima de transmisión de datos: 22 Mb/s, con 802.11, 144 Mb/s con 802.11.n
- Rango de cobertura en interiores: 45 [m] con 802.11 y 70 [m] con 802.11n
- Consumo de potencia: alto
- Banda de frecuencia: 2.4 GHz, 3.6 GHz y 5.6 GHz.

d. EN 13757 / M-Bus

EN 13757 (*Meter bus*) es un estándar europeo para la interacción remota con los medidores de servicios públicos, varios sensores y actuadores, fue desarrollado en la Universidad de Paderborn. M-Bus utiliza un modelo reducido de las capas del modelo OSI. Soporta varios medios físicos incluyendo par trenzado e inalámbrico opera en la banda de ISM (Industrial, Scientific& Medical) de 2.4 GHz, 868 MHz (Europa) y 915 MHz (Estados Unidos). El par trenzado normalmente opera a 2400 a 9600 baudios y un solo segmento puede ser de hasta unos cuantos kilómetros de largo⁴³.

⁴² STARSINIC M. System architecture challenges in the home M2M network. Farmingdale 2010.

⁴³ CRAENER Klass. Analysis of state of the art smart metering communications standards. Leuven 2010.

e. Homeplug

El estándar Homeplug 1.0 fue publicado en 2001 por *Home Plug Powerline Alliance* y permite la comunicación a través de las líneas de alta tensión a 14 Mbps half-duplex.

Algunas de las características de HomePlug Green PHY son⁴⁴:

- HomePlug opera en la banda de frecuencia de 2 MHz a 30 MHz
- Opera con un consumo de energía de 75% menos que las actuales implementaciones HomePlug AV.
- Reduce el costo hasta un 75% de los materiales que se usan en la implementación de Homeplug AV.
- Proporciona internet (IPv6 802,2).
- Soporta velocidades de datos en la capa física de 4,5 Mbps hasta 10 Mbps⁴⁵

f. IEC 62056-21 / IEC 61107

El estándar IEC 62056-21 se denomina a veces como “Flag” o por su antiguo nombre IEC 1107. “Intercambio local directo de datos” parte 21 fue publicado a mediados de 2002 y describe los protocolos de software y hardware adecuados para el intercambio de datos en los medidores de servicios públicos. Este es similar en naturaleza al estándar de los Estados Unidos ANSI C12.18.

En la parte del hardware una interfaz óptica y un sistema de dos hilos se describen. Sobre el sistema de dos hilos se usa un sistema asíncrono half-duplex basado en la transferencia de datos ASCII RS232. Diferentes modos de operación

⁴⁴ CRAENER Klass. Analysis of state of the art smart metering communications standards. Leuven 2010.

⁴⁵ Home Plug Alliance. The Standard for In Home Smart Grid Powerline Communications. HomePlugPowerline. (Octubre 2012) [Consultado en febrero 2013]. Disponible en: http://www.homeplug.org/tech/homeplug_gp

se especifican, etiquetados desde la A hasta la D, que difieren en la velocidad de transmisión, direccionalidad y seguridad. Un modo especial E permite el uso de DLMS/COSEM vía HDLC (*High-Level Data Link Control*, IEC 62056-46).

Como uno de los primeros estándares para el intercambio de datos, IEC 62056-21 es ampliamente utilizado en la actualidad. Sin embargo no utiliza un modelo de datos o un mapeo uniforme de memoria. Por lo tanto la comunicación del medidor requiere información específica del fabricante lo que limita el intercambio de información.⁴⁶

g. DLMS / COSEM

DLMS (Especificaciones del lenguaje de los mensajes en los dispositivos) (integrado en la norma IEC 62056) describe conceptos generales para el modelado de objetos relacionados con servicios, entidades de comunicación y protocolos. COSEM es la compañía de especificaciones para la medición energética. El cual consta en la medición de objetos específicos basados en códigos OBIS (Sistema de Identificación de Objetos) para el uso de xDLMS. xDMLS es una extensión de DLMS el cual describe como acceder a los atributos y métodos de objetos COSEM. COSEM define un número de clases de interfaz estándar, llamados objetos cuando se ejecutan, contienen atributos y métodos para describir parte de las funcionalidades requeridas. Un atributo es usado para describir los aspectos de algunos datos, mientras que los métodos se utilizan para leerlas o modificarlas.

h. BPL (*Broadband Over Power Lines*)

La banda ancha sobre líneas eléctricas representa el uso de tecnologías PLC que proporcionan acceso a internet a través de líneas de energía ordinaria. Una de las mayores ventajas que BPL tiene para ofrecer es la amplia infraestructura

⁴⁶ CRAENER Klass. Analysis of state of the art smart metering communications standards. Leuven 2010.

disponible que permite a usuarios en lugares remotos tener acceso a internet con una inversión de equipo relativamente pequeña para la compañía de electricidad y para el usuario.⁴⁷

Los módems PLC transmiten en las gamas de media y alta frecuencia (señal portadora de 1,6 a 30 MHz). La tasa de transmisión de datos asimétrica en el módem va generalmente desde 256 kbit/s a 2,7 Mbit/s. En el repetidor situado en el cuarto de medidores (cuando se trata del suministro en un edificio) la tasa de transmisión de datos es hasta 45 Mbit/s y se puede conectar con 256 módems PLC.

En las estaciones de voltaje medio, la tasa de transmisión de datos desde los centros de control de red hacia Internet es de hasta 134 Mbit/s. Para conectarse con Internet, las empresas de electricidad pueden utilizar un *backbone* (espina dorsal) de fibra óptica o enlaces inalámbricos. Los sistemas modernos de BPL utilizan la modulación OFDM (multiplicación por división de frecuencias ortogonales) que permite minimizar la interferencia con los servicios de radio mediante la remoción de las frecuencias específicas usadas [39].

Se puede identificar varios beneficios incluyendo:

- Capacidad de la red para encontrar fallas y corregirlas.
- Mejora de la seguridad contra amenazas físicas y cibernéticas.
- Habilitar el uso de la generación de energía distribuida.
- Mejora de la gestión de la carga y la utilización de la red eléctrica
- Con un mayor ancho de banda en comparación con otras tecnologías, BPL tiene mayor capacidad de transportar información.

⁴⁷ CORINEX COMMUNICATIONS. DOMOPRAC. BPL medium (Febrero 2012) [Consultado en Mayo 2013. Disponible en: <http://corinex.com/message/bpl-medium-low-voltage-network>.

i. Ethernet

Ethernet define las características de cableado y señalización de nivel físico y los formatos de trama del nivel de enlace de datos modelo OSI. Ethernet se refiere a las redes de área local y dispositivos bajo el estándar IEEE 802.3 que define el protocolo CSMA/CD, aunque actualmente se llama Ethernet a todas las redes cableadas que usen el formato de trama descrito más abajo, aunque no tenga CSMA/CD como método de acceso al medio.

Ethernet se planteó en un principio como un protocolo destinado a cubrir las necesidades de las redes LAN. A partir de 2001 Ethernet alcanzó los 10 Gbps lo que dio mucha más popularidad a la tecnología. Dentro del sector se planteaba a ATM.

Características de Ethernet⁴⁸:

- Tecnología de red doméstica más rápida
- Sumamente segura
- Fácil de mantener después de la instalación
- La instalación de cableado red y dispositivos de red puede resultar costosa
- La configuración y puesta en marcha tiene su complejidad.

• Red de comunicación casera

Una red de comunicación casera (HAN, Home Area Network) es una red de comunicación en el dominio del cliente, la cual esta típicamente definida y enfocada para usuarios residenciales.

⁴⁸ DOMOPRAC. Protocolo de red: tipos y utilidades (Marzo 2008) [Consultado en Diciembre 2012. Disponible en: <http://www.domoprac.com/protocolos-de-comunicacion-y-sistemas-domoticos/protocolos-de-red-tipos-y-utilidades.html>

Para soportar comunicación elocuente a un sistema HEMS, la HAN debe satisfacer dos necesidades principales: la primera es la comunicación de los dispositivos dentro de la casa y la segunda es potenciar la conexión del hogar con la electrificadora mediante el establecimiento de comunicación bidireccional. Adicionalmente en el contexto de sistemas de gestión energética, el consumo de energía es otra variable importante y por tanto la HAN debe tener características de operación de baja potencia.⁴⁹

Marcos referenciales de la HAN: Mediante la definición de los marcos referenciales requeridos, se garantiza la funcionalidad del sistema para los usuarios y la empresa proveedora de energía.

Algunos requerimientos en los marcos referenciales de la HAN son:

- Seguridad: Proceso ligado con el desarrollo mismo de la red, los datos de usuario deben estar protegidos en cada nivel de la AMI. Las categorías de seguridad son: Control de acceso y confidencialidad, registro y autenticación, integridad y responsabilidad.
- Desempeño: Garantía del buen desempeño del sistema. Los componentes en los cuales depende son: disponibilidad, confiabilidad, mantención, escalabilidad y calidad.

Aplicaciones HAN:

- Interface usuario- maquina: Soporte a señales input-output en la interacción del usuario con el sistema.
- Procesamiento: Basado en el soporte señales de la HAN (medición y monitoreo) para procesos como costo de energía, consumo actual, reducción de la demanda, optimización de energía e impacto ambiental.

⁴⁹ International Users Group. Utility AMI 2008 Home Area Network System Requirements Specification. (Marzo 2008) [Consultado Mayo 2013] disponible en: <http://www.utilityami.org/>

- Medición y monitoreo: Soporte a señales de datos internos y estatus como: Medición de terminal o monitoreo de variables ambientales o estatus On/Off de un toma inteligente.
- Control: Soporte a señales de control. Las mínimas aplicaciones control ON/ OFF deben ser procedidas como control directo.

1.4 LA GESTIÓN ENERGÉTICA RESIDENCIAL

La gestión energética residencial en Colombia está trabajando en la incorporación de tecnologías como: redes inteligentes, AMI y HEMS. Con el aporte de algunos grupos de investigación referentes al tema de gestión energética han permitido que Colombia este en miras de la implementación de estas nuevas tecnologías en las redes tradicionales y así estar a la vanguardia mundial. Algunas de las normas que rigen el sistema de gestión energética residencial en Colombia se describen a continuación y las características más relevantes de cada norma se presenta en el Anexo A.

1.4.1 Sistema de medición abierto (OMS por sus siglas en Ingles)

En un esfuerzo de unificar los diferentes dispositivos de medición de servicios públicos y poder llevarlos a un nivel elevado de integración, diferentes empresas se unieron con el fin de estandarizar un protocolo de comunicación que puede satisfacer todas las necesidades que encierra un sistema de medición avanzada (AMI). En este grupo se desarrolló el sistema de medición abierto (OMS, *Open Metering System Specification*) basado en la norma Europea EN 13757-x. Así todos los medidores OMS hablan el mismo idioma y son interoperables,

independiente del proveedor que los diseña y del tipo de consumo que realizan⁵⁰.
(Ver Anexo A, Figura A.1)

1.4.2 Resolución 120 de 2007 – Código de medida

Conforme a lo dispuesto en el Código de Medida adoptado por la Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG), en su proyecto de Resolución No. 120 de 2007, los sistemas de medición a nivel residencial deben cumplir requisitos y características técnicas.(ver Anexo A Figura A.2)

- La mínima clase de exactitud debe ser de 1,0 para el medidor de energía activa y el error máximo permitido es +/- 2,0% de la energía activa del sistema de medición⁵¹.
- Certificación de Producto: Según lo citado en el Código de Medida, todos los componentes del sistema de medición deben contar un certificado de conformidad de producto, pero en estos momentos no hay forma de obtener dicho certificado, ya que la Superintendencia de Industria y Comercio no ha tomado las acciones correspondientes para hacer exigible un certificado de conformidad de producto o aprobación de modelo.
- Normas de fabricación de los medidores de energía según la norma NTC 5019 “Selección de equipos de medición de energía eléctrica”: Para el caso residencial, los medidores de energía deberán cumplir con lo establecido en la siguiente normas:

NTC 4052, *Equipos de medición de energía eléctrica (c.a.). Requisitos particulares, medidores estáticos de energía activa Clases 1 y 2.* (IEC 62053-21).

⁵⁰ OMS. OMS Group Open Metering System. [Consultada Enero 2013]. Disponible en: http://www.oms-group.org/en_index.html.

⁵¹ Colombia. Ministerio de Minas y Energía. Resolución 120 de 2007. Por medio de la cual se adopta la Guía de Políticas y Buenas Prácticas Ambientales en la Contaduría General de la Nación.

- Dispositivos de salida: La norma NTC 5019 “Selección de equipos de medición de energía eléctrica” da una clasificación al medidor de energía eléctrica según su complejidad y una serie de requisitos aplicables a los medidores:

Tabla 1.4 Clasificación del medidor de energía eléctrica por su complejidad

Clasificación	Descripción
Básicos	Medidores de energía sencillos, sin dispositivos internos de control de carga o tarifa; con o sin salida de impulso; con o sin puerto de comunicación óptico.
Multienenergía	Medidores que, en una única carcasa, miden más de un tipo de energía, con o sin salida de impulso; con o sin puerto de comunicación óptico.
Multifunción	Medidores básicos o de Multienenergía, que incluyen funciones adicionales a las metrológicas básicas, tales como registro de demanda máxima, registro de tiempo de uso, dispositivo de control de tarifa y/o carga, como un interruptor horario o un receptor de telemando centralizado.
Medidores con funciones adicionales	Medidores con otras unidades funcionales como PLC, comunicación telefónica o por radio, lectores de bonos de pagos, etc.

Fuente: NTC 5019

- Para medidores de clase 1 (uso residencial), el registrador debe permitir tomar lecturas con mínimo cinco dígitos enteros y dos dígitos decimales, es decir resolución 0,01.
- Requisitos aplicables a todos los medidores estáticos: Para la verificación y calibración, el medidor debe contar con dispositivos de salida (ópticos y/o eléctricos) para energía activa y reactiva cuando aplique. Estos dispositivos de salida preferiblemente deberían ser independientes; uno para energía activa y otro para energía reactiva.
- Requisitos aplicables a los medidores multifunción: El medidor debe disponer de herramientas de visualización en display y/o a través de software que indiquen estado de conexión, alimentación del medidor, diagnósticos de estado y otros.
- Requisitos aplicables a los medidores multifunción con funcionalidad adicional: Para las comunicaciones, el medidor debe tener disponibilidad de

utilizar al menos una de las siguientes formas: Puerto óptico, Puerto RS 232, Puerto RS 485, Lazo de corriente y Modem.

1.4.3 Ley 697 de 2001 – Ley URE

La Ley 697 de 2001 (ley URE) definió un nuevo escenario normativo, con políticas y directrices de obligatorio cumplimiento que deben ser acatadas en todo su alcance. La ley designa incentivos y responsabilidades dentro del desarrollo del Programa de Uso Racional y Eficiente de la Energía y demás Formas de Energía No Convencionales (PROURE).⁵²

La Ley 697 de 2001 decreta en su artículo quinto la creación del PROURE, cuyo objeto es aplicar gradualmente programas de ahorro energético y unos niveles mínimos de eficiencia preestablecidos por la ley para todo el sistema energético. (Anexo A, Figura A.3)

1.4.4 Decreto reglamentario 3683 de 2003

La Ley 697 de 2001 fue reglamentada a través del Decreto 3883 de 2003, el cual tiene como objetivo reglamentar el uso racional y eficiente de la energía, de tal manera que se tenga la mayor eficiencia energética para asegurar el abastecimiento energético pleno y oportuno, la competitividad del mercado energético colombiano, la protección al consumidor y la promoción de fuentes no convencionales de energía, dentro del marco del desarrollo sostenible y respetando la normatividad vigente sobre medio ambiente y los recursos naturales renovables.⁵³

Además, el Decreto 3683 de 2003 crea la Comisión Intersectorial para el uso Racional y Eficiente de la Energía y Fuentes No Convencionales de Energía,

⁵² Colombia. Ministerio de Minas y Energía. Ley 697 de 2001 Ley URE. Mediante la cual se fomenta el uso racional y eficiente de la energía, se promueve la utilización de energías alternativas y se dictan otras disposiciones.

⁵³ Colombia. Ministerio de Minas y Energía. Decreto 3683 de 2003. Por el cual se reglamenta la Ley 697 de 2001 y se crea una Comisión Intersectorial.

CIURE, con el fin de asesorar y apoyar al Ministerio de Minas y Energía en la coordinación de políticas sobre uso racional y eficiente de la energía y demás formas de energía no convencionales en el sistema interconectado nacional y en las zonas no interconectadas (ver Anexo A, Figura A.5).

1.4.5 Programa CONOCE

Siguiendo en el contexto de eficiencia energética se sitúa el Programa Colombiano de Normalización, Certificación y Etiquetado de Equipos de Uso Final de Energía CONOCE que nace debido a la Resolución CREG 097 del 2000, la cual determina establecer pautas para el diseño, normalización y uso eficiente de equipos y aparatos eléctricos. El programa es una herramienta que pretende el óptimo aprovechamiento de los recursos naturales en toda la cadena energética, como mecanismo práctico para el establecimiento de condiciones de mercado que promuevan la penetración de tecnología energéticamente eficiente y como estrategia para la generación de una cultura en uso racional y eficiente de la energía en la sociedad colombiana.⁵⁴

1.4.6 Norma ISO 50001

A causa de la proliferación de distintos estándares nacionales de gestión de la energía fue desarrollada y presentada la Norma ISO 50001 el 17 de junio de 2011, como un nuevo estándar internacional donde se establecen los requisitos para la adecuada gestión de la energía, orientado a la aplicación en todo tipo de organizaciones y empresas. La norma pretende promover planes de acción enfocados a aumentar la eficiencia energética, reducción de costos y consumos de energía. Como conclusión, todas las organizaciones pueden tener acceso a un estándar único y estructurado para la implementación de una metodología coherente para desarrollar mejoras continuas en materia energética [38]. (Ver Anexo A- Figura A.6).

⁵⁴ Unidad de Planeación Minero Energética - UPME, "Programa Colombiano de Normalización, Acreditación Certificación y Etiquetado de Equipos de Uso Final de Energía - CONOCE."

2. SISTEMA DE GESTIÓN ENERGÉTICA BASADO EN MEDICIÓN INTELIGENTE Y TRANSFERENCIA INTELIGENTE DE POTENCIA

En este capítulo se propone un escenario de gestión energética residencial, el cual permite la monitorización continua del consumo de energía eléctrica desagregado por aplicación en tiempo real, venta de energía eléctrica a la red eléctrica local, control manual y remoto de actuadores, comunicación bidireccional con la empresa proveedora de energía, permitiendo al usuario realizar acciones y actividades de gestión energética con el fin disminuir el consumo energético y realizar un mejor consumo.

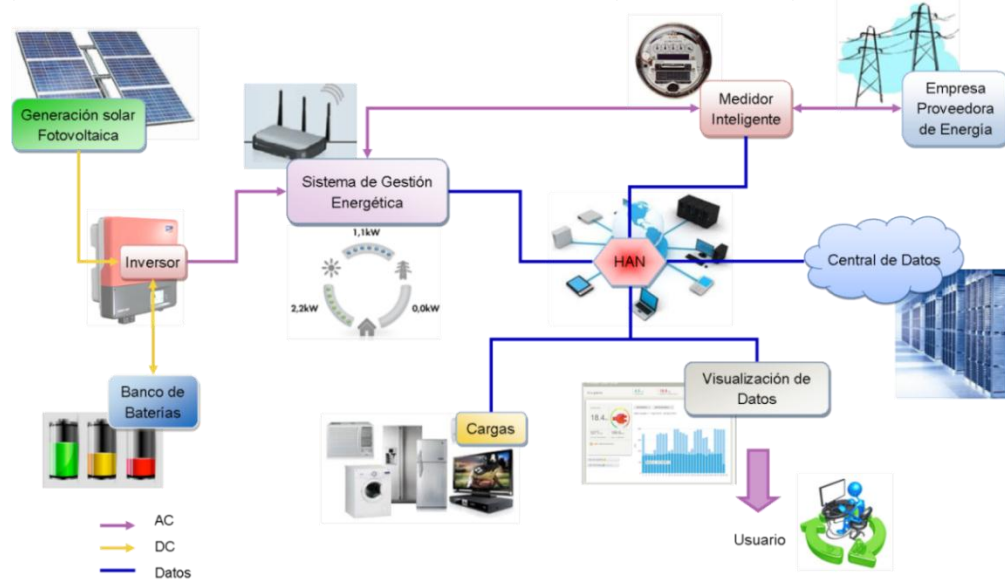
A continuación se presenta una topología de un sistema residencial basada en la transferencia inteligente de energía y medición inteligente.

2.1 TOPOLOGÍA BÁSICA DE UN SISTEMA DE GESTIÓN ENERGÉTICA RESIDENCIAL

La implementación de medición inteligente y transferencia inteligente de potencia y la integración de fuentes alternativas de energía se observa en la Figura 2.1 en donde se muestra la arquitectura básica del diseño de un sistema de medición del consumo energético en tiempo real. Una de las principales características de este sistema es la comunicación bidireccional con la empresa proveedora del servicio energético, esta característica le permite a la empresa proveedora de servicio llevar un registro en tiempo real del consumo por dispositivo teniendo así un mayor control sobre sus usuarios y a los usuarios conocer como se consume la energía en su hogar, esta característica permite la implementación de aplicaciones de gestión energética.

Otras características son: la tarifa diferencial, control de las cargas de forma remota, historiales diarios, semanales o mensuales de consumo y pronóstico para futuras recomendaciones que pueden implementarse, estas aplicaciones son básicamente señales que llegan al medidor inteligente el cual se conecta a los dispositivos internos del hogar a través de la red de comunicación HAN y al sistema de monitorización donde se registra las actividades y se realiza la toma de decisiones correspondientes que posteriormente son realizadas por los actuadores [17].

Figura 2.1. Infraestructura de un sistema de gestión energética residencial.



Fuente: Autores

2.1.1 Transferencia inteligente de potencia

La función principal de la transferencia Inteligente de potencia es la integración de dispositivos cuyo fin es realizar la medición Inteligente y gestión eficiente de la energía residencial, además conectar varias fuentes de energía alternativa, esto con el propósito de poder seleccionar de que fuente energética se desea realizar

el consumo, además se puede incorporar una fuente de poder ininterrumpido lo que proporcionará una mayor confianza si las demás fuentes fallan.⁵⁵

La implementación de sistemas de generación local a base de energías renovables junto con la implementación de almacenamiento de energía en baterías como sistema de respaldo representa un avance en la gestión energética integral aumentando la confiabilidad de todo el sistema a la hora que ocurra un daño en la red de distribución local, además al disponer de diferentes fuentes de donde obtener energía la transferencia inteligente cuenta con la capacidad de discernir de manera autónoma cual fuente de energía seleccionar para proveer el servicio de energía dependiendo de las cargas que se tengan conectadas al interior de la vivienda, inclusive si se dispone de dispositivos como los tomas inteligentes la transferencia inteligente está en capacidad de distribuir de forma eficiente el consumo energético desconectando cargas que no se estén utilizando obteniendo así un nivel aceptable en la gestión energética.

A continuación se hace una descripción de las características principales de los dispositivos que hacen posible la transferencia inteligente de potencia:

2.1.1.1 Medidor inteligente

Los medidores de energía eléctrica inteligente presentan una nueva alternativa para los usuarios que desean obtener un registro más detallado de su consumo energético diario, esto le permite al usuario tener una perspectiva acerca de la forma como es consumida la energía en su hogar y a qué hora del día sucedió cada consumo permitiéndole establecer estrategias para lograr un ahorro eficiente de la energía, los usuarios pueden acceder a la información recolectada por los medidores inteligentes por medio de una interfaz que encontrara en internet. Además los medidores inteligentes le proporcionan a la empresa distribuidora de

⁵⁵ Power Generation. CumminsPowerGeneration. (2004) [Consultado Febrero 2012]. Disponible en: <http://www.cumminspower.com/es/technical/application/t011/>

energía un mayor control sobre sus usuarios permitiéndole llevar un seguimiento actualizado del consumo y estar alerta a cualquier irregularidad que se presente.

Una de las nuevas funcionalidades del medidor inteligente es la capacidad de la medición bidireccional que le permite medir la energía que es alimentada a la red local por los usuarios que tienen generadores instalados en sus casas, tales como paneles fotovoltaicos o turbinas eólicas, en este sentido, la energía que es generada por estos sistemas puede superar la requerida por el consumidor.

Los medidores inteligentes tienen funciones complementarias a la medición del consumo energético como las siguientes.⁵⁶

- Comunicación bidireccional entre la empresa proveedora de energía y el usuario.
- Desconexión y reconexión del suministro energético de forma remota.
- Soporte de tarifa diferencial determinada por la hora del día en que se consume y se entrega energía (TOU, Time of Use).
- Monitorización de parámetros del sistema de potencia.
- Consumo desagregado de los diferentes dispositivos internos del hogar
- Soporte de comunicación HAN.
- Detección de manipulación.
- Capacidad de medición bidireccional.

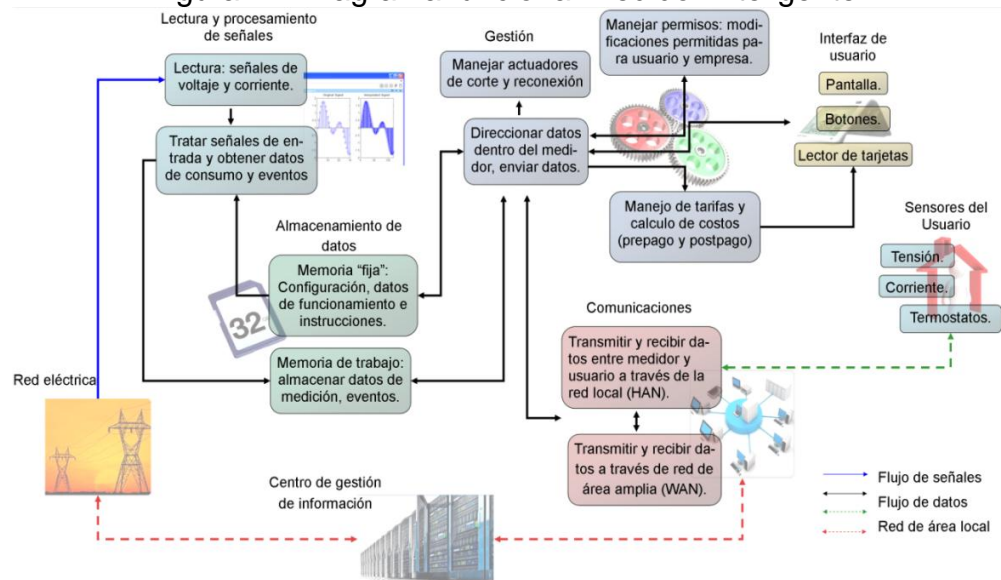
La utilización del sistema de medición inteligente implica una transferencia de datos entre la empresa de energía eléctrica, los medidores inteligentes y electrodomésticos en la red. Estos datos representan la información completa sobre el consumo de energía por parte del cliente y el estado de las redes sin ningún tipo de posibles manipulaciones o errores de cálculo, son confidenciales,

⁵⁶ Gustavo Archila, Walter Gómez: Caracterización tecnológica de la topología de un sistema de gestión energético residencial, 2012. Trabajo de grado. Universidad Industrial de Santander. p 25

por tanto estos datos deben ser autenticados y deben reflejar la información sobre los dispositivos de destino correctos.

Para que la transferencia de datos dentro de la red sea segura se formulan estándares de comunicación para la transmisión, la recolección, el almacenamiento, y el cálculo de los datos de consumo de energía. La Figura 2.2 ilustra la bidireccionalidad de la comunicación entre los dispositivos en las instalaciones del cliente, los proveedores de energía eléctrica, medidores inteligentes, y otros componentes del sistema eléctrico.

Figura 2.2 Diagrama funcional medidor inteligente.



Fuente: Autores

En esta Figura 2.2, los dispositivos en el sector de transmisión deben asegurar la correcta transmisión de la energía generada, los sistemas de control en el sector de la distribución deben garantizar el seguimiento y control de desperfectos, los dispositivos de protocolo de comunicación como puertas de enlace, recolectores

de datos, repetidores y las operaciones de red coordinan los datos y señales de control entre todos los dispositivos de la red de comunicación⁵⁷.

- **Características genéricas del medidor inteligente**

La diferencia principal entre los fabricantes es la forma del diseño electrónico en el que se implementa el medidor. En todos estos diseños hay que añadir unos elementos extras de comunicaciones pues los periféricos que llevan implementados solamente admiten conexiones de tipo local de algunos metros como máximo.

Los módulos funcionales genéricos que representan un medidor inteligente se pueden observar en la Figura 2.3. Las unidades funcionales más destacadas son:

⁵⁸

Módulo de control: es la unidad central del medidor, su papel consiste en integrar a los demás módulos. Presenta las siguientes características:

- Voltaje de alimentación 1,8 a 3,6 [V], frecuencia de operación 1 a 16 MHz, tiempo mínimo de ejecución de la instrucción 0,06 µseg.
- Microcontrolador de 32 bits.
- Convertidor A/D de alta precisión de 24 bits (3 canales).
- Memoria ROM flash de 128 kbyte.
- Memoria RAM.
- 4 canales UART.
- Timer/Counter 9 canales de 16 bits.

Módulo de potencia: Proporciona 5 y 3,3 [V] de alimentación para los diferentes módulos que integran el medidor, utiliza baterías como fuente de alimentación de

⁵⁷ REDDY Soma, WANG Lingfeng, DEVABHAKTUNI Vijay. Smart Meters for Power Grid – Challenges, Issues, Advantages and Status, Toledo 2011.

⁵⁸ Toshiba Corporation. Smart Meter [Consultado en Febrero 2013]. Disponible en: http://www.semicon.toshiba.co.jp/eng/application/industry/smart_meter/index.html.

reserva para asegurar que los datos importantes no se pierdan. Está compuesta por:

- MOSFETS.
- Diodos.
- Convertidores DC/DC.

Módulo de medición: mide todo tipo de información de uso de energía y envía todos los datos al módulo de control.

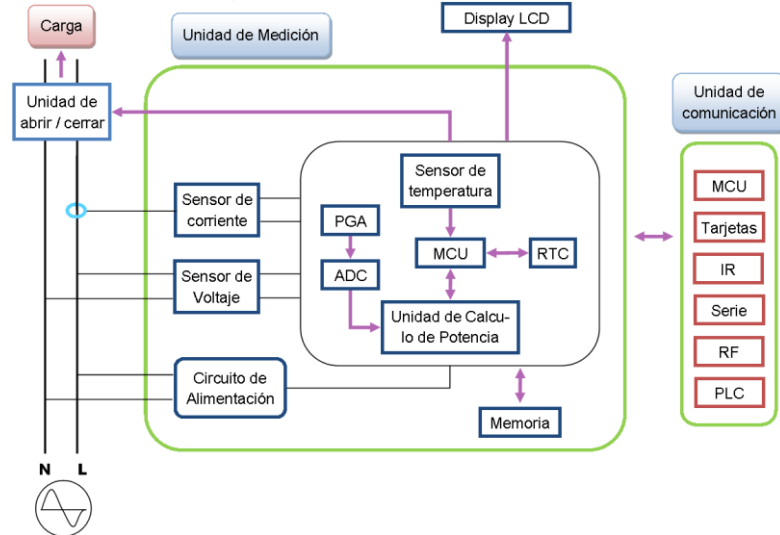
- Sensor de voltaje.
- Sensor de corriente (Rogowski, transformador de corriente, shunt, efecto Hall).
- sensores clase 0,2 IEC62053.

Módulo de almacenamiento y reloj: Ofrece referencia de tiempo preciso y almacenamiento de datos, memoria EEPROM, serial SRAM, serial Flash.

Módulo de comunicación: envía y recibe datos e instrucciones de funcionamiento. Tiene las siguientes características:

- Voltaje de alimentación 2,5 a 3,6 [V], frecuencia de operación 1 a 16 MHz, tiempo mínimo de ejecución de la instrucción 0,015 μ s.
- Microcontrolador de 32 bits.
- Memoria ROM flash 1024 kbyte.
- Memoria RAM de 64 kbyte.
- Convertidor A/D de 10 bits (8 canales).
- Canales UART.
- Timer/Counter (16 bits).
- PLC, SLPR, Ethernet.
- Inalámbrico (ZigBee, Wi-fi, Bluetooth, sub- GHz).

Figura 2.3. Módulos funcionales genéricos que representan un medidor inteligente.



Fuentes: [20]

El valor de la energía que se desea calcular sigue ciertos procesos antes de visualizarse en el display del medidor a continuación se hace un breve recuento de estos procesos:⁵⁹

a. Etapa de sensado y acondicionamiento de la señal

La primera parte del proceso de medida es analógica y externa al circuito integrado, para detectar la señal de tensión hay que atenuar típicamente con un divisor de tensión o un transformador y adaptar la amplitud a los valores del PGA (*Programable Gain Amplifier*), las medidas se realizan entre fases o mejor entre fase y neutro.

La medida de la corriente se realiza mediante una tensión por transformador de corriente, la medida de corriente puede ser de una fase, de dos fases, de tres fases sin neutro o de tres fases con neutro dependiendo del medidor a implementar y del número de ADC's que disponga el integrado.

⁵⁹ CASELLAS Francisco, VELAZCO Guillermo, GUINJOAN Francesc, PIQUE Robert. El concepto de Smart Metering en el nuevo escenario de distribución eléctrica. Barcelona 2012.

La utilización de transformadores para las medidas de tensión o corriente presenta un problema, el desfase introducido en la señal del secundario respecto a la señal de medida, esto implica un error en el cálculo de la potencia instantánea por parte del DSP, que se ha de minimizar implementando un filtro digital para la corrección de este desfase y que se ajusta mediante la calibración del medidor.

b. Cuantificado y procesado de las señales

La siguiente etapa en el medidor inteligente es adaptar con los amplificadores de ganancia programables (PGA, *Programable Gain Amplifier*) las señales de tensión y corriente que se obtuvieron en la etapa de sensado y transformarlas con los convertidores análogo a digital (ADC, *Analogo Digital Converter*), para después pasar los valores al procesador digital de señales (DSP, *Digital Signal Processor*) y así realizar los cálculos de las potencias consumidas. Otros posibles cálculos que pueden ser realizados son los referentes a la calidad de la señal en la línea, como por ejemplo: los valores de pico en la tensión eficaz, la reducción en la tensión eficaz, las variaciones de frecuencia en la señal o los errores aperiódicos de cruce por cero en la onda de tensión.

c. Control del sistema y transmisión de datos

En los dispositivos con procesador de doble núcleo los valores calculados por el DSP quedan como variables en los registros de datos a disposición del MCU, para su almacenamiento y teletransmisión.

Las comunicaciones se implementa mediante enlaces con HAN y con el DM (Data Management) utilizando los puertos serie que dispone el MCU como periféricos, se trata de una comunicación local con otros dispositivos especializados en las redes que se deseen desplegar. Esta modularidad permite adaptar el diseño a las circunstancias de cada aplicación.

Como elementos complementarios típicos en los dispositivos se pueden indicar los sensores de temperatura internos, el reloj en tiempo real, la gestión de energía del

sistema, el supervisor de las memorias de configuración sistema y del firmware o la detección de fugas de corriente [16].

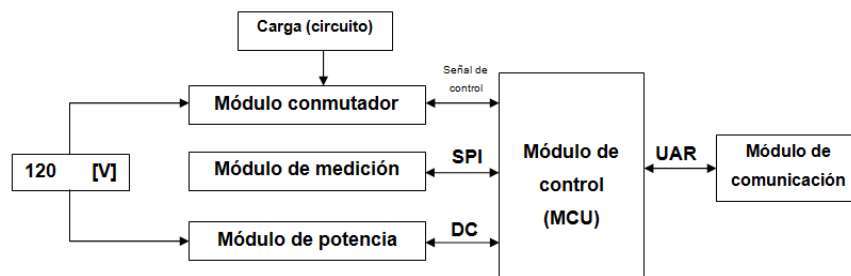
2.1.1.2 Tomas inteligentes.

Toma inteligente es similar a un toma convencional pero tiene integrado un módulo que permite control y gestión con los dispositivos que se le conecten. Se usa principalmente para el control de electrodomésticos, sus principales funciones son:⁶⁰

- Recibe comandos de control que son dirigidas por el sistema de gestión y apaga electrodomésticos u otras operaciones.
- Mide el consumo de energía de los electrodomésticos y usa la comunicación inalámbrica para reportar información de potencia eléctrica.
- Tiene función de control y proporciona protección de los electrodomésticos en el momento de una anomalía en el suministro energético.

Los módulos funcionales genéricos que representan un toma inteligente se pueden observar en la Figura 2.4. Las unidades funcionales más destacadas son:

Figura 2.4. Módulos funcionales genéricos que representan un toma inteligente.



Fuente: [19]

Módulo de control: es la unidad central del toma inteligente. Ejecuta las funciones básicas del sistema y está a cargo del centro ON/OFF de las cargas.

⁶⁰ ZHAO Yong, SHENG Wanxing, SUN Junping, SHI Weijun. Research and Thinking of Friendly Smart Home Energy System Based on Smart Power. Beijing 2011.

Módulo de comunicación: permite enviar datos a través de la HAN tales como mediciones de energía eléctrica y señales de control ON/OFF.

Módulo de medición: mide los consumos de energía de las cargas y envía los datos al módulo de control.

Módulo de almacenamiento: usa una tarjeta SD para almacenamiento de datos de medición.

Módulo conmutador: relé pequeño de apertura o cierre para controlar las cargas.

2.1.1.3 Electrodomésticos inteligentes

Los electrodomésticos o cargas inteligentes son dispositivos que cuentan con la capacidad de responder a señales proveniente desde la empresa proveedora de servicio eléctrico con la intención de ajustar el nivel de consumo presentado en un hogar o pueden ser señales determinadas por el usuario para configurar el ambiente del hogar e impartir funciones específicas como por ejemplo activar el uso de la lavadora a cierta hora del día o de la noche, esto con el fin de comenzar a realizar un uso eficiente de la energía.

En un escenario normal el consumo de la energía se encuentra repartido en sus mayores niveles a ciertas horas del día, el escenario ideal sería la distribución de este consumo a otras horas del día o de la noche, por eso la utilización de electrodomésticos inteligentes integrados en un sistemas de monitorización y actuadores representan un punto clave en la gestión de demanda energética.⁶¹

⁶¹ Gustavo Archila, Walter Gómez: Caracterización tecnológica de la topología de un sistema de gestión energético residencial, 2012. Trabajo de grado. Universidad Industrial de Santander. p 72

2.1.1.4 Hub central de control

El Hub es un dispositivo de control y monitorización y sus funciones básicas son:⁶²

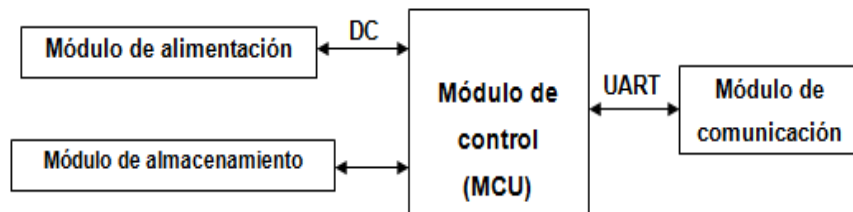
- La recolección y registro de todos los datos de los dispositivos que se encuentran conectados a la red casera (cargas, fuentes de energía alternativa).
- Lectura de los datos de energía del medidor y los datos de los inversores DC/AC por medio de comunicación inalámbrica o cableada.
- El análisis del consumo para cada carga individual
- La visualización de las acciones recomendadas para el manejo de cargas y la detección precisa de producción, consumo y autoconsumo.
- Almacena datos de consumo por día/semana/año
- Monitoreo y reporte de datos de las cargas.
- registra continuamente la energía generada por la instalación, registra la inyección a la red local y el consumo desde la red local
- Además puede conectar y desconectar de forma automáticamente equipos consumidores que se encuentren conectados mediante enchufes inalámbricos.

Los módulos funcionales genéricos que representan un toma inteligente se pueden observar en la Figura 2.5. Las unidades funcionales más destacadas son:⁶³

⁶² Gustavo Archila, Walter Gómez: Caracterización tecnológica de la topología de un sistema de gestión energético residencial, 2012. Trabajo de grado. Universidad Industrial de Santander. p 57-58

⁶³ ZHAO Yong, SHENG Wanxing, SUN Junping, SHI Weijun. Research and Thinking of Friendly Smart Home Energy System Based on Smart Power. Beijing 2011.

Figura 2.5. Módulos funcionales genéricos que representan un Hub central de control.



Fuente: [19]

Módulo de control: ejecuta las funciones básicas del sistema y está a cargo de la gestión y el control de las cargas del sistema. Presenta las siguientes características:

- Voltaje de alimentación: 3,3 [V],
- Frecuencia 454 MHz
- Microcontrolador de 32 bits.
- Convertidor A/D de alta precisión de 12 bits (8 canales).
- Memoria ROM de 128 kbyte.
- Memoria SRAM de 128 kbyte
- 5 canales UART de hasta 3.25 Mbps
- Timer/Counter 4 canales de 32 bits.

Módulo de comunicación: se comunica con el medidor inteligente, toma inteligente. Soporta diversos módulos de comunicación: ZigBee, RS485, WiFi, Ethernet, además permite el control y monitorización remota de cargas vía internet.

- Voltaje de alimentación 2 a 3,6 [V], frecuencia de operación 2.4 GHz
- Microcontrolador de 32 bits.
- Memoria ROM 80 kbyte.
- Memoria flash de 128 kbyte
- Memoria RAM de 96 kbyte.

- Convertidor A/D de 10 bits (8 canales).
- 2 Canales UART de 2 Mbps.
- Puerto SPI
- Inalámbrico: (ZigBee, Wi-fi, Bluetooth, sub- GHz).

Módulo de alimentación: Provee la fuente de poder para la alimentación eléctrica del Hub

Módulo de almacenamiento: usa memoria no volátil SD para almacenar y mantener los datos de medida.

Memorias: DDR2 (RAM) 26 bits, 200 MHz, soporta hasta 8 NAND Flash memory de 20 bit.

2.1.1.5 Inversor

La principal función de inversor es el de convertir voltaje DC variable de la luz solar en los paneles fotovoltaicos o de un banco de baterías en un voltaje AC y frecuencia específico para su uso en aplicaciones al interior del hogar inteligente (Smart Home) o para ser retroalimentada de la red eléctrica. El voltaje AC de salida del inversor varía dependiendo a la región en la que sea instalado, por lo que debe ser programado con las especificaciones regionales antes de activar su funcionamiento.⁶⁴ La descripción de la tarjeta principal del inversor se presenta en el Anexo B.

Las principales características que debe tener un inversor para poder integrarse en un sistema de gestión energético se presentan a continuación:

- Soporte de comunicación HAN.

⁶⁴ TARANOVICH Steve. Teardown: The power inverter from sunlight to power grid. EDN Network, 13 de Enero 2012. Consultado en febrero de 2013, disponible en: <http://www.edn.com/design/analog/4368876/Teardown-The-power-inverter--from-sunlight-to-power-grid>.

- Interruptor para la desconexión de la red eléctrica local.

2.1.1.6 Termostato

Las principales características de este dispositivo son:⁶⁵

- Reporta el consumo de energía eléctrica de aires acondicionados al Hub.
- Alerta de cambios de tarifa del kWh
- Programable semanalmente.
- Programación y control remoto.
- Soporte a programas de energía inteligente del proveedor de servicio: tarifa diferencial, respuesta a la demanda.

2.1.1.7 Gateway

Una de las principales características de este dispositivo es:

- Repotencia la red ZigBee.
- Permite un nivel mediano de integración de la red casera en programas de energía inteligente del proveedor de servicios.
- Permite interoperabilidad de protocolos ZigBee – WiFi – Ethernet.

2.1.2 Síntesis del sistema de gestión energética residencial.

En la Tabla 2.1 se resume el sistema de gestión energética residencial con sus características.

⁶⁵ Gustavo Archila, Walter Gómez: Caracterización tecnológica de la topología de un sistema de gestión energético residencial, 2012. Trabajo de grado. Universidad Industrial de Santander. p 57-58

Tabla 2.1. Sistema de gestión energética residencial

SISTEMA DE GESTIÓN ENERGÉTICA RESIDENCIA	
Componentes	Características
Comunicación	
HAN	Comunicación inalámbrica entre empresas de servicios públicos y la red de área local. 2.4 GHz, cobertura de 10 a 20 [m] en interiores, bajo consumo energético operacional.
Con la empresa proveedora de energía	Por medio del Medidor Inteligente, módulos GPRS, 3G, WiMAX, LTE, RF Mesh, PLC; o a través del núcleo el sistema tiene conectividad Ethernet y WiFi posibilitando la comunicación por medio de internet vía TCP/IP.
Actuadores	
Medidor inteligente	Soporte AMI, comunicación bidireccional, compatibilidad con red casera ZigBee o Ethernet, estándar aplicable NTC 4052 (IEC 62053-21)
Inversor	Son ideales para su uso en sistemas fotovoltaicos pequeños y medianos. Destacan por un coeficiente de rendimiento excepcional, facilidad de uso y fiabilidad.
Tomas inteligentes	Medición de energía eléctrica, control ON/OFF, tensión de trabajo 120V, módulo de comunicación ZigBee o Bluetooth.
Termostato inteligente	Gestión y manejo de aire acondicionado, programable a preferencias usuario, módulo de comunicación ZigBee o Bluetooth.
Interfaz usuario	Central de operaciones del sistema, manejo de datos de los sensores y sub-medidores, programable a preferencias usuario, módulo de comunicación ZigBee o Bluetooth.
Hub	Concisa, versátil, agradable, interactiva y flexible en la presentación de datos y gráficas de consumo, módulo de comunicación ZigBee, Bluetooth
Electrodomésticos inteligentes	También llamados cargas Inteligentes son dispositivos finales que permiten optimizar el funcionamiento de un hogar Inteligente, facilitando ciertas tareas al usuario. Soporta comunicación ZigBee o Bluetooth.
Aplicaciones	
Monitorización continua y control de dispositivos.	En la interfaz usuario el cliente tendrá información de su consumo y estado de sus electrodomésticos en tiempo casi real, de igual forma el usuario está en la capacidad de controlar sus electrodomésticos de forma remota.
Tarifa diferencial	La característica de comunicación bidireccional del medidor inteligente sensibiliza al sistema en respuesta a la tarifa diferencial del kWh, en este contexto el usuario podría programar y gestionar sus electrodomésticos acorde a la tarifa diferencial usando electrodomésticos como lavadoras en horas de precio bajo del kWh y disminuyendo su consumo excesivo en horas pico de demanda, de acuerdo a su conveniencia
Respuesta a la demanda	El sistema soporta respuesta a requerimientos de las electrificadoras en picos de demanda. Por ejemplo el usuario estará en la capacidad de responder a un requerimiento de subir la temperatura de su termostato 2°C y eliminar cargas innecesarias a las 12 m. Una respuesta global de usuarios permitirá a la electrificadora el beneficio de achatar el pico de demanda y el usuarios recibiría beneficios en su factura sin

	comprometer su confort y preferencias
Retroalimentación al consumo	El usuario está en la capacidad de manejar sus cargas de acuerdo a su conveniencia y preferencias de confort. El usuario recibirá curvas de consumo diario semanal o mensual, con la posibilidad de intervenir de inmediato sus patrones de consumo cuando estos sean excesivos; además de servicios contextuales en calidad y confiabilidad del servicio.

Fuente: Autores

2.2 SELECCIÓN DE LA PROPUESTA DE GESTIÓN ENERGÉTICA RESIDENCIAL

La selección de la oferta comercial de gestión energética residencial busca encontrar el sistema más acorde al sistema especificado en el ítem 2.1.

La metodología de selección de la propuesta de gestión energética residencial es la que se presenta a continuación:

2.2.1 Revisión de proveedores de tecnología

La revisión empieza por un estudio de los proveedores de tecnología con presencia actual en el mercado de tecnologías como: hogares inteligentes, monitoreo, automatización y redes inteligentes, en la Tabla 2.2 se presenta un total de 47 proveedores.

Tabla 2.2. Lista de proveedores

Proveedores de Tecnología revisados						
AlertMe	ECHELON	Energía y Movilidad S.A.S	Growatt	Landis+Gyr	Phillips	SzStar Instrument
AzTech	Ecobee	EnergyHub	HAI	Leviton	Power House Dynamics	Solarwatt
BAUR	Eco-eye	Enocean alliance	Icontrol	LG	SamilPower	Sunrous
Cooper Power System	Efergy	ERASMUS	iGRID	METREL	Savant	Tendril
Corinex	Elster	Fronius	Iskraemeco	METER TEST	Schneider Electric	TOSHIBA
DIYKYOTO	E-Mon	General Electric GE	Itron	OMICRON	Silver Spring	
DILO	Energate	Green Energy Options	KEHUA TECH	Panasonic	SMA	

De las anteriores empresas se encontraron 24 ofertas con dispositivos y sistemas de gestión, sus componentes y características se muestran en la Tabla 2.3.

2.2.2 Depuración de la oferta comercial

El listado de proveedores se depura con base a la topología y funcionalidad del sistema deseado (Figura 2.1), los criterios de exclusión son: claridad de la oferta comercial, disponibilidad de las especificaciones técnicas, soporte técnico además de la localización del Proveedor y finalmente la funcionalidad de los dispositivos. Las ofertas seleccionadas son:

- Corinex⁶⁶
- ERASMUS⁶⁷
- General Electric⁶⁸
- Growatt
- Schneider Electric

⁶⁶ Es proveedor local y trabaja con medidores de proveedores como Itron, Landis+Gyr

⁶⁷ Es un proveedor local y es una empresa integradora, trabaja con productos del proveedor SMA (es una empresa proveedora de dispositivos para implementación de un sistema energético) también trabaja con Corinex y Energía y Movilidad S.A

⁶⁸ Trabaja con el módulo de comunicación de Silver Spring, además ofrece dispositivos finales (Termostatos, Tomas Inteligentes)

Tabla 2.3. Análisis de la lista de proveedores

Empresa	Actuadores				Interfaz de Usuario		Hub	Comunicaciones	Observaciones
	Automatización				Dispositivo Físico	Software	Hardware/ Software		
	Medidor Inteligente	Inversor	Termostato Inteligente	Toma Inteligente					
AlartMe	X	X	X	✓	X	X	✓	ZigBee	Especificaciones Técnicas no disponibles
Corinex	*✓	X	X	X	X	✓	X	BPL	* Ofrece la tarjeta del módulo de comunicación para Medidores Inteligentes
Energía y Movilidad S.A.S	X	✓	X	✓	✓	✓	✓	Bluetooth	Empresa Local, trabaja de la mano con diferentes proveedores como SMA
ERASMUS	✓	✓	X	X	✓	✓	✓	BPL, Bluetooth	Empresa Local, trabaja de la mano con diferentes proveedores como SMA y ERASMUS
ECHELON	✓	X	X	X	X	✓	X	ZigBee, M-Bus	
Elster	✓	X	X	X	X	✓	X	M-Bus	
EnergyHub	X	X	✓	✓	✓	X	✓	ZigBee	Aún no disponible para usuarios residenciales
E-Mon	✓	X	X	X	X	X	X	Mod-Bus, Ethernet	Maneja diferentes protocolos de comunicación de acuerdo al interés del usuario.
Energate	X	X	✓	X	✓	X	✓	ZigBee	Especificaciones Técnicas no disponibles
Fronius	X	✓	X	X	X	✓	✓	RS232/RS422, USB	
General Electric GE	✓	X	✓	X	✓	✓	✓	ZigBee	Adopta las tarjetas de Silver Spring
Growatt	X	✓	X	X	✓	✓	✓	ZigBee	Especificaciones Técnicas no disponibles del Sistemas de la Interfaz del usuario
HAI	X	X	✓	✓	✓	X	✓	ZigBee	
Icontrol	✓	X	✓	X	✓	X	X	ZigBee	Especificaciones Técnicas no disponibles
Iskraemeco	✓	X	X	X	X	X	X	No especifica	
Itron	✓	X	X	X	X	X	X	ZigBee	Adopta las tarjetas de Silver Spring o Corinex
KEHUA TECH	X	✓	X	X	X	✓	X	RS232/RS485	Especificaciones Técnicas no disponibles
Landis+Gyr	✓	X	X	X	✓	X	✓	ZigBee	Adopta las tarjetas de Corinex
Leviton	✓	X	X	X	X	X	✓	ZigBee, Mod-Bus	
SamilPower	X	✓	X	X	X	✓	X	Ethernet	
Schneider Electric	✓	X	✓	✓	✓	✓	✓	ZigBee	Especificaciones Técnicas no disponibles
Silver Spring	*✓	X	X	X	X	✓	X	ZigBee	* Ofrece la tarjeta del módulo de comunicación para Medidores Inteligentes
SMA	X	✓	X	✓	✓	✓	✓	Bluetooth	
Sunrous	X	✓	X	X	X	X	X	RS485	

2.2.3 Evaluación técnico-comercial de las ofertas

La evaluación de las ofertas de gestión energética residencial de las cinco empresas que resultaron favorables en la depuración comercial, se clasifican teniendo en cuenta aspectos como: Comunicación e Interoperabilidad, Características Físicas, Funcionalidad y finalmente costo.

Teniendo en cuenta los cuatro criterios se realizó la depuración de la oferta comercial teniendo en cuenta para cada criterio:

Comunicación e interoperabilidad: este criterio es importante ya que se necesita que los dispositivos tengan una buena comunicación para que la información que es recolectada y transmitida no sufra alteraciones.

Se tiene en cuenta la comunicación bidireccional entre el usuario (HAN) y la empresa proveedora de energía (AMI).

Funcionalidad: para la evaluación de este criterio se retoman las funciones que permite el óptimo funcionamiento de una red inteligente doméstica como:

- El consumo desagregado de la energía, cerca al tiempo real.
- La retroalimentación al consumidor.
- Control manual y remoto de las cargas.
- Óptima integración de fuentes alternativas.

Es un estudio de las características técnicas y de funcionamiento de acuerdo a la oferta comercial disponible y la información suministrada por parte de los proveedores

Es un trabajo de integración de dispositivos que permiten el óptimo funcionamiento de un red inteligente doméstica.

Características físicas: se evalúa las dimensiones de los dispositivos, el diseño, la facilidad de instalación teniendo en cuenta que es para uso residencial y se necesita la comodidad del usuario.

Costo: es un criterio que pretende evaluar el precio de estos dispositivos con el fin de brindarle un soporte al usuario.

2.2.3.1 Comunicación

Como principal característica se tiene en cuenta la comunicación bidireccional entre el usuario y la empresa proveedora de energía, las soluciones en comunicación de cada una de las ofertas se evalúan en dos dominios: HAN (dominio usuario) y con la empresa proveedora de energía (dominio AMI). La Tabla 2.4 se observa la evaluación de las comunicaciones por cada Proveedor.

Tabla 2.4 Evaluación de las comunicaciones para cada oferta tecnológica

Evaluación de las comunicaciones para las ofertas tecnológicas		
Oferta	Comunicaciones	
	Para HAN	Para la Empresa Proveedora de energía
Corinex	Ethernet	Para establecer comunicación con la empresa adopta el módulo de comunicación de la Empresa Corinex. Que trabaja con comunicación BPL junto al Software Smart Grid Connect (SGC) el cual es una red de alta velocidad con bidireccionalidad en las comunicaciones, basada en el estándar IP.
ERASMUS	Bluetooth	Por medio del Medidor
General Electric	ZigBee	Para establecer comunicación con la electrificadora el sistema tiene dos vínculos: uno módulo ZigBee SEP 1.0 entre el Hub y el medidor AMI, el cual a su vez tiene módulos GPRS, 3G, WiMAX, LTE, RF Mesh, PLC; o a través del nucleus el sistema tiene conectividad Ethernet y WiFi posibilitando la comunicación por medio de internet vía TCP/IP
Growatt	ZigBee	El sistema actual tiene limitantes para comunicación con la electrificadora o el domino AMI.
Schneider Electric	ZigBee	El sistema Wiser de Schneider usa una Gateway para establecer comunicación con la electrificadora a través de internet (TCP/IP, DHCP, SNMPv1 protocolos) canal físico Ethernet; al igual la Gateway permite la unión a una red ZigBee Smart Energy en el dominio AMI.

Fuente: Autores

2.2.3.2 Características físicas

En las características físicas se evalúan las dimensiones de los dispositivos, el diseño y la facilidad de instalación. En las tablas 2.5 y 2.6 se presentan las fotografías del diseño de los dispositivos para cada una de las ofertas y las características físicas y de instalación respectivamente.

Tabla 2.5. Fotografías del diseño de dispositivos en cada una de las ofertas





















FOTO DE LAS OFERTAS COMERCIALES				
Corinex				
				
Software	Gateway	Medidor Inteligente		
ERASMUS				
				
Inversor	Sistema de Respaldo	Interfaz usuario	Hub	Toma Inteligente
General Electric				
				
Termostato Inteligente	Interfaz usuario	Hub (Nucleus)	Toma Inteligente	Medidor Inteligente
Growatt				
				
Hub e Interfaz de usuario		Inversor	Software	
Schneider Electric				
				
Termostato Inteligente	Toma Inteligente	Hub e Interfaz de usuario	Gateway	

Tabla 2.6. Evaluación de las características físicas y facilidad de instalación

Características Física y de Instalación/Componentes	Evaluación Factor de forma y facilidad de instalación				
	Corinex	ERASMUS	General Electric	Growatt	Schneider Electric
Medidor Inteligente	* La forma y el diámetro y las características físicas depende del proveedor. Corinex proporciona la tarjeta del módulo de comunicación.	No ofrece	Forma cilíndrica, dimensiones: diámetro: 176 [mm] (; fondo: 127 [mm] peso 1.22 Kg, cubierta en policarbonato. Display LCD	No ofrece	No ofrece
	La tarjeta del módulo de comunicación se instala en el Medidor. Contiene una memoria interna.		El medidor I-210+c se instala usando una caja para medidor y prácticas de instalación estándar		
Inversor	No ofrece	Forma Rectangular, dimensiones: (450; 352; 236) [mm] Peso 26 Kg. (ancho; alto; fondo). Pantalla LCD	No ofrece Inversores de uso residencial	Forma Rectangular dimensiones: (360; 510 ;188) [mm] (ancho; alto; fondo) Peso 24 Kg, Display LCD	No ofrece
		El inversor Sunny Boy 4000TL, debe ser instalado de acuerdo a las instrucciones del manual, para un óptimo funcionamiento. Además necesita un soporte para ser instalado. La posición del Inversor debe ser vertical.		El inversor Growatt 3600MTL-10, debe ser instalado de acuerdo a las instrucciones del manual, para un óptimo funcionamiento. Además necesita un soporte para ser instalado. La posición del Inversor debe ser vertical.	
Toma Inteligente	No ofrece	Dimensiones: (118;76; 56) [mm] (ancho; alto; fondo) Peso 156 g.	Dimensiones físicas del dispositivo no especificadas, tamaño apropiado según fotografías de oferta	No ofrece	Dimensiones: (76.2;50.8;32) [mm] (Altura; Ancho; Profundidad)
		El dispositivo soporta una tensión de entrada: 100 - 240 [V] AC y corriente 16 [A]	Una conexión tipo clavija que acopla perpendicularmente al toma convencional.		Una conexión tipo clavija que acopla perpendicular al toma convencional.

Características Física y de Instalación/Componentes	Evaluación Factor de forma y facilidad de instalación				
	Corinex	ERASMUS	General Electric	Growatt	Schneider Electric
Hub o Núcleo (Sistema de Monitoreo)	No ofrece	Forma Rectangular, dimensiones: (170; 124.5; 41.5) [mm] (ancho; alto; fondo), Peso 0,22 kg. Contiene memoria interna	Dimensiones: (77;40;40)[mm] (Altura; Ancho; Profundidad)	Hub está integrado en un solo dispositivo con la interfaz de usuario.	Hub está integrado en un solo dispositivo con la interfaz usuario
		El Sunny Home Manager, este dispositivo soporta una tensión de entrada: 100 - 240 [V] AC. La comunicación con el medidor se hace por medio de la interfaz D0 ó S0, y con el inversor es por medio de Bluetooth	Trabaja con tecnología Brillion. Dispositivo portable físico alimentado a 120 V AC-5V DC	El ShinePano, este dispositivo soporta una tensión de entrada: 100 - 240 [V] AC, 5 [V] DC	Dispositivo portable físico alimento a 115 V AC con batería recargable interna
Termostato Inteligente	No ofrece	No ofrece	Dimensiones: (127;127;27.2) [mm] (Altura; Ancho; Profundidad). Pesa 500 g. Display LCD	No ofrece	Dimensiones: (92;140; 38) [mm] (Altura; Ancho; Profundidad)
			Dispositivo alimentado 24 [V] AC.		Dispositivo alimentación 120V AC y voltaje nominal de operación 24 V AC
Gateway	Forma Rectangular dimensiones (230; 185; 80) [mm] (ancho; alto; profundo). Peso 2 Kg	No ofrece	No ofrece	No ofrece	Dimensiones físicas no especificadas ver tabla de fotografías de oferta

Características Física y de Instalación/Componentes		Evaluación Factor de forma y facilidad de instalación				
		Corinex	ERASMUS	General Electric	Growatt	Schneider Electric
Interfaz Usuario	Dispositivo Físico	No ofrece	No ofrece	Dimensiones físicas del dispositivo no especificadas, tamaño apropiado según fotografías de oferta. Dispositivo portable, PC interfaz y aplicación móvil, alimentado 120 V AC- 5V DC.	Forma Rectangular, dimensiones: (240;160;25) [mm] (ancho; alto; fondo) Peso 0.66 Kg	Dimensiones: (92;96; 38) [mm] (Altura; Ancho; Profundidad)
	Software	Software listo para la industria y para el usuario. Dispositivo portable para ser instalado en PC o servidor.	Software compatible con todos los sistemas operativos. Acceso desde cualquier lugar del mundo a través de internet: con el ordenador o el teléfono móvil.	Dispositivo portable para ser instalado en PC o servidor dispositivos móviles.	Dispositivo portable para ser instalado en PC	Dispositivo Portable y portal Web

Fuente: Autores

2.2.3.3 Funcionalidad

Para evaluar la funcionalidad de las ofertas se retoman las funciones a satisfacer definidas en el capítulo 1, los cuales son la base para una óptima implementación de un sistema de gestión energética. Las funciones requeridas son:

- Consumo desagregado de la energía eléctrica (cerca a tiempo-Real).
- Retroalimentación al consumo.
- Control manual y remoto de cargas.
- Comunicación bidireccional con la empresa proveedora de energía (tarifa de precios diferencial y respuesta a la demanda)

Con base en las 4 funcionalidades anteriores se elaboran una serie de ítems para la evaluación de ofertas comerciales por componente. La evaluación analiza el nivel de concordancia con las especificaciones requeridas, al igual se describen las restricciones encontradas en la oferta comercial actual.

Para esta evaluación se considera:

- El valor de uno (1) si satisface las condiciones,
- El valor de cero (0) si no cumple con las condiciones.
- NA: Si No Aplica o no está presente en la oferta.
- NE: No especificado en la información técnica del fabricante.

A continuación se listan los dispositivos y su evaluación correspondiente:

a. Medidor inteligente

Tabla 2.7. Evaluación funcional de ofertas- Medidor inteligente

a. Características Funcionales Requeridas - Medidor inteligente	Corinex	ERASMUS	General Electric	Growatt	Schneider Electric
Soporta HAN	1	NA	1	NA	NA
Permite la interoperabilidad HAN-AMI	1	NA	1	NA	NA

Comunicación y medición Bi-direccional	1	NA	1	NA	NA
Extiende la Red Inteligente al dominio del usuario	1	NA	1	NA	NA
Registro del perfil de carga	1	NA	1	NA	NA
Registro de eventos del sistema de potencia y calidad de la energía	1	NA	1	NA	NA
Servicios de Corte y Desconexión	1	NA	1	NA	NA
Respuesta a la demanda	1	NA	1	NA	NA
Seguridad, Anti fraude	1	NA	1	NA	NA
Facturación Prepago	1	NA	1	NA	NA
Porcentaje de coincidencia con la especificación de funcionalidad requeridas	100%	0%	100%	0%	0%

El medidor inteligente es un componente esencial en la composición AMI, al igual que las redes inteligentes y el desarrollo de aplicaciones de energía inteligente. EL medidor de energía es el vínculo de comunicación usuario-empresa proveedora de energía por excelencia. En el futuro cercano del desarrollo de sistemas de gestión energética y redes inteligentes, los sistemas exigirán mayor confiabilidad y robustez en la comunicación bidireccional. De acuerdo a los resultados obtenidos, Corinex y General Electric tiene un alto porcentaje en el cumplimiento de las especificaciones requeridas, permitiendo que su funcionamiento sea óptimo para la implementación de un sistema de gestión energética residencial.

b. Inversor

Tabla 2.8.Evaluación funcional de ofertas- Inversor

b. Características Funcionales Requeridas - Inversor	Corinex	ERASMUS	General Electric	Growatt	Schneider Electric
Soporte HAN	NA	1*	NA	1	NA
Conexión y Desconexión de la Red	NA	1	NA	1	NA
Conexión de Acumuladores	NA	1	NA	1	NA
Monitorización de la Red	NA	1	NA1	1	NA
Tecnología Multi-String	NA	1	NA	1	NA
Porcentaje de coincidencia con la especificación de funcionalidad requeridas	0%	100%	0%	100%	0%

Los inversores de ERASMUS y Growatt presentaron un 100% de la evaluación de las características funcionales. ERASMUS proporciona diferentes dispositivos para la integración de un sistema de generación solar.

c. Toma inteligente

Tabla 2.9. Evaluación funcional de ofertas- Toma inteligente

c. Características Funcionales Requeridas - Toma inteligente	Corinex	ERASMUS	General Electric	Growatt	Schneider Electric
Monitoreo y reporte de datos por aplicación vía ZigBee o Bluetooth	NA	1	1	NA	1
Control remoto ON/OFF a través del Hub Central	NA	1	0	NA	0
Actúa como repetidor en redes ZigBee	NA	0	1	NA	1
Soporte a programas de energía inteligente del proveedor de servicio: tarifa diferencial y respuesta a la demanda	NA	1	1	NA	1
Tensión de trabajo 120V	NA	1	1	NA	1
Corriente 15 A	NA	1	1	NA	1
Porcentaje de coincidencia con la especificación de funcionalidad requeridas	0%	83%	83%	0%	83%

Las tomas Inteligentes de ERASMUS, General Electric y Schneider Electric presentaron 83% en el nivel de coincidencia con los requerimientos.

d. Hub o control central

Tabla 2.10. Evaluación funcional de ofertas- Hub o control central

d. Características Funcionales Requeridas - Hub o control central	Corinex	ERASMUS	General Electric	Growatt	Schneider Electric
Soporte HAN	NA	1	1	1	1
Selección de la Fuente de Suministro Energético	NA	1	0	0	0
Registro Detallado de Generación Solar	NA	1	0	1	0
Registro de cuanta Energía es	NA	1	0	1	1

Inyectada a la Red					
Coordina actuadores para monitorización y control por aplicación	NA	1	*1	NE	0
Almacena datos de consumo por día/semana/año	NA	1	1	1	1
Diseño incluyente y sensible a señales externas del proveedor del servicio como: respuesta a la demanda, tarifa diferencial y servicios contextuales	NA	1	1	1	1
Adaptable a actualizaciones software e inclusión de futuras funcionalidades de la red Inteligente	NA	1	1	1	1
Monitoreo y reporte de datos de las cargas	NA	1	1	0	0
Porcentaje de coincidencia con la especificación de funcionalidad requeridas	0%	100%	67%	67%	56%

En las ofertas, el Hub con más funcionalidades es el que ofrece ERASMUS. Para GE en el ítem 5 existe una restricción debido a que no tiene establecido interoperabilidad con dispositivos que permiten la integración de las energías alternativas para este caso paneles fotovoltaicos y el control de estos.

e. Termostato inteligente

Tabla 2.11. Evaluación funcional de ofertas- Termostato inteligente

e. Características Funcionales Requeridas - Termostato inteligente	Corinex	ERASMUS	General Electric	Growatt	Schneider Electric
Reporta el consumo de energía eléctrica en aires acondicionados al Hub	NA	NA	NE	NA	0
Alerta de cambios de tarifa del kWh	NA	NA	1	NA	1
Programable semanalmente, 4 eventos diarios	NA	NA	1	NA	1
Programación y control remoto	NA	NA	1	NA	1

Soporte a programas de energía inteligente del proveedor de servicio: tarifa diferencial, respuesta a la demanda y otros servicios contextuales	NA	NA	1	NA	1
Porcentaje de coincidencia con la especificación de funcionalidad requeridas	0%	0%	80%	0%	80%

Los termostatos GE y Schneider Electric tienen calificaciones similares, estos dispositivos integran en su operatividad programas de energía inteligentes del proveedor de servicio.

f. Gateway

Tabla 2.12. Evaluación funcional de ofertas- Gateway

f. Características Funcionales Requeridas - Gateway	Corinex	Energía y Movilidad S.A.S	General Electric	Growatt	Schneider Electric
Repotencia la red ZigBee	0	NA	NA	NA	1
Permite un nivel mediano de integración de la red casera en programas de energía inteligente del proveedor de servicios	1	NA	NA	NA	1
Permite interoperabilidad de protocolos ZigBee – WiFi – Ethernet	1	NA	NA	NA	1
Porcentaje de coincidencia con la especificación de funcionalidad requeridas	67%	0%	0%	0%	100%

La Gateway solo esta ofertada por dos empresas, Corinex y Schneider Electric. En esas ofertas específicas, la Gateway a través de la función de interoperabilidad entre ZigBee e internet e incluso BPL para la empresa Corinex, permite establecer el link de comunicación bidireccional entre el usuario y la empresa proveedora de energía.

g. Interfaz de usuario

Tabla 2.13. Evaluación funcional de ofertas- Interfaz de usuario

g. Características Funcionales Requeridas - Interfaz de usuario	Corinex	Energía y Movilidad S.A.S	General Electric	Growatt	Schneider Electric
Porcentaje de la Generación Local	0	1	0	1	NE
Aplicaciones para Dispositivos Móviles	0	1	1	0	1
Visualización de Datos Históricos (año, mes, semana, día)	1	1	1	1	1
Diseño Amigable y agradable a la vista	1	1	1	1	0
Perfil de carga diario vs costo	1	1	1	1	0
Consumo Total de la Energía Eléctrica kWh	1	1	1	1	1
Alerta de Cambio de Tarifa Diferencial	1	1	1	1	1
Software para PC	1	1	1	1	0
Porcentaje de coincidencia con la especificación de funcionalidad requeridas	75%	100%	88%	88%	50%

El resultado de la evaluación de las ofertas para la interfaz tiene una ponderación especial ya que es uno de los componentes que más influye en la consecución de ahorro y el cambio de malos hábitos del usuario. También es necesario que la interfaz sea de fácil entendimiento para el usuario para que este se sienta capaz de controlar su sistema de gestión.

La evaluación muestra la interfaz usuario de ERASMUS en primer lugar con un nivel destacable de coincidencia del 100%, seguida por General Electric Y Growatt con un nivel de 88%, aun aceptable para las exigencias del proyecto; las demás interfaces tienen una limitante bastante significativa al no responder a uno de los objetivos principales en retroalimentación al usuario, que es el consumo desagregado por aplicación.

h. Ponderación funcional por oferta

En la Tabla 2.14 se presenta finalmente la calificación global en funcionalidad.

Tabla 2.14. Ponderación global de la funcionalidad de las ofertas comerciales

Ponderación global	Toma inteligente	Termostato inteligente	Interfaz usuario	Hub-Control central	Medidor inteligente	Inversor	Gateway	Interoperabilidad y comunicación bidireccional	Desempeño
Corinex	0%	0%	75%	0%	100%	0%	67%	80%	40%
ERASMUS	83%	0%	100%	100%	0%	100%	0%	100%	60%
General Electric	83%	80%	88%	67%	100%	0%	0%	50%	58%
Growatt	0%	0%	88%	67%	0%	100%	0%	70%	41%
Schneider Electric	83%	80%	50%	56%	0%	0%	100%	50%	52%

Para la integración del sistema de gestión energética residencial se tiene en cuenta dos componentes esenciales los cuales son el medidor y la transferencia inteligente de potencia, adicionalmente dispositivos adicionales (Termostatos inteligentes, tomas inteligentes entre otros) que su fin es hacer que el hogar sea aún más inteligente.

De acuerdo a ello y con los resultados obtenidos existe un posible escenario que cumple con los requerimientos del sistema deseado. Como posible escenario se tiene en cuenta a las empresas: Corinex y ERASMUS. Estas cumplen con los requerimientos funcionales para la transferencia inteligente de potencia y su compatibilidad con los medidores inteligentes y como valor adicional que ofrecen es el soporte ya que son proveedores locales, por otro lado ERASMUS es una empresa integradora y trabaja en proyectos pilotos, para la implementación de estos proyectos trabaja de la mano con otras empresas que ofrecen servicios adicionales que permiten optimizar el sistema.

La empresa GE ofrece las características necesarias para un sistema de medición Inteligente, pero existe restricción interoperabilidad con dispositivos que permiten la integración de energías alternativas, debido a que el dispositivo que desarrolla el control y monitoreo esta en desarrollo y estará disponible al mercado hasta el

2015, esto limita el óptimo funcionamiento de un sistema de gestión energética residencial.

Schneider Electric obtuvo un buen porcentaje en la evaluación, pero como notación se puede decir que esta empresa proporciona dispositivos finales cuyo fin es permitir que el hogar sea aún más inteligente, por tanto esta empresa se tomó como valor adicional por sus características y servicios.

La empresa Growatt ofrece servicios en la parte de transferencia inteligente pero existe una limitante en la localización del proveedor y en la comunicación con los medidores inteligentes restringiendo el soporte que puede ofrecer a los usuarios.

2.2.3.4 Costo

La evaluación del costo presenta una limitante que no permite mostrar un resultado concluyente en este aspecto, debido a que las diferentes empresas no proporcionan esta información a usuarios particulares, esta se encuentra disponible para empresas proveedoras de energía. A excepción de la empresa ERASMUS que proporciono la cotización del inversor (ver Anexo C)

2.2.3.5 Resultados de la evaluación técnico-comercial

La valoración global de la oferta técnico-comercial se produce como resultado de la ponderación equivalente para los cuatro criterios establecidos: comunicaciones, características físicas, funcionalidad y costo. Para la obtención de los resultados de la evaluación de los criterios cualitativos como son: comunicación y características físicas se realiza una apreciativa de acuerdo a las características que ofrece la oferta tecnológica. El criterio de funcionamiento es la ponderación global de la funcionalidad de las ofertas comerciales que se observa en la Tabla 2.14. La evaluación del costo no altera el total de la evaluación ya que este criterio no tiene ponderación.

Tabla 2.15. Ponderación global de la funcionalidad de las ofertas comerciales

EVALUACIÓN TÉCNICO-COMERCIAL DE OFERTAS					
Criterios	Proveedor				
	Corinex	ERASMUS	General Electric	Growatt	Schneider Electric
Comunicaciones	80%	100%	*50%	50%	50%
Características Físicas	80%	90%	80%	70%	70%
Funcionalidad	40%	60%	58%	41%	52%
Costo	NA	NA	NA	NA	NA
Total	50%	63%	47%	40%	43%

La Tabla 2.15 es clara en la recomendación del sistema de gestión energética residencial ERASMUS como el sistema que mejor responde a los requerimientos del sistema en gestión energética residencial de entre todas las ofertas estudiadas. *GE no provee dispositivos que permitan la interoperabilidad con sistemas de energía alternativa, lo cual disminuye su eficiencia.

2.2.4 Descripción de la oferta recomendada

En definitiva, el proceso de selección recomienda el sistema de gestión energética residencial de ERASMUS Y Corinex como los sistemas que mejor responden a los requerimientos en gestión energética residencial propuestos en el capítulo 1. Y como dispositivos adicionales se podrían tener en cuenta los ofrecidos por Schneider Electric o GE.

Tabla 2.16. Oferta recomendada

FOTO DE LAS OFERTAS COMERCIALES				
Corinex				
				
Software	Gateway	Medidor Inteligente		
ERASMUS				
				
Inversor	Sistema de Respaldo	Interfaz usuario	Hub	Toma Inteligente

3. TOPOLOGÍA DEL SISTEMA DE GESTIÓN ENERGÉTICA RESIDENCIAL

En este capítulo se hará una descripción de las características del sistema de acuerdo a su funcionalidad, aspectos técnicos y presupuesto aproximado de la oferta comercial del sistema seleccionado en el capítulo 2, para finalmente mostrar algunas de las ventajas que ofrece el sistema en cuanto a la disminución del consumo energético de acuerdo a los diferentes tipos de estrato de un usuario residencial.

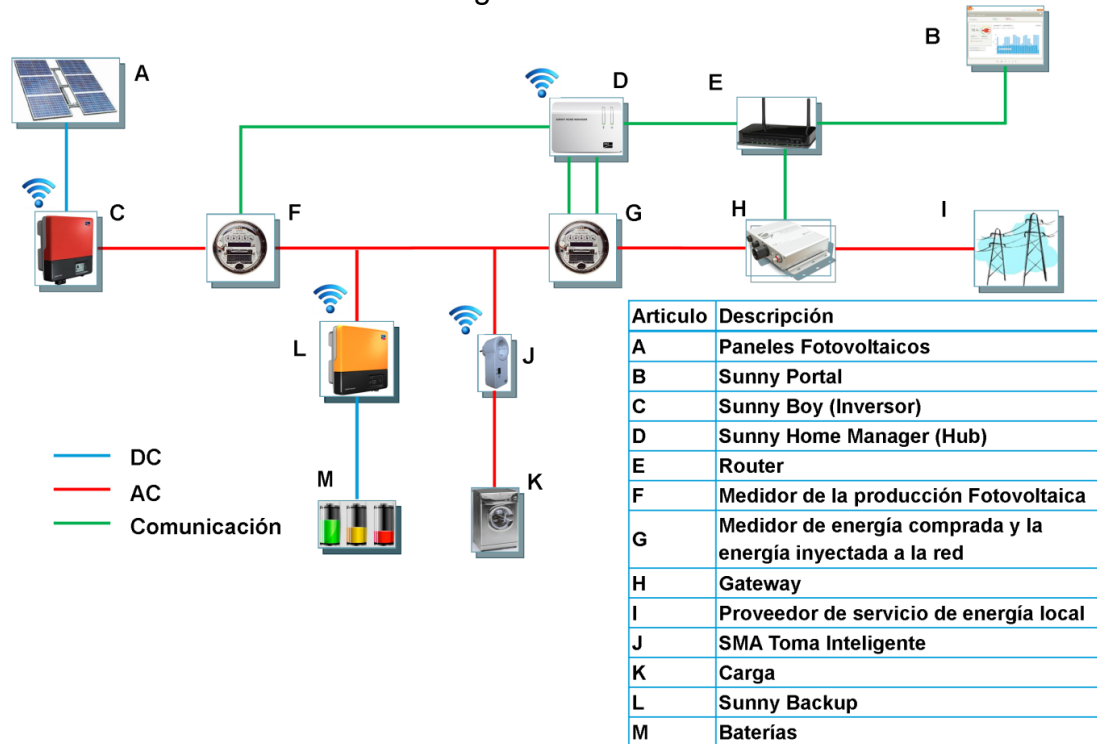
3.1 CARACTERÍSTICAS

De acuerdo estudio realizado se seleccionó la oferta tecnológica que mejor se adapta a la reglamentación del sistema de gestión energética residencial colombiano mencionado en el Capítulo 1.

Como se concluyó en el capítulo 2 las empresas ERASMUS y Corinex satisfacen los requerimientos necesarios para la implementación del sistema, a continuación se hace una descripción de las características técnicas de los dispositivos, además de aspectos esenciales que permiten la interoperabilidad y conexión entre ellos.

En la Figura 3.1 se presenta la estructura del sistema de gestión energética residencial seleccionado, permitiendo la compatibilidad entre el medidor inteligente y la transferencia inteligente de Potencia.

Figura 3.1. Topología del sistema de gestión energética de acuerdo a la oferta tecnológica seleccionada.



Fuente: Autores.

Para el sistema de gestión energética es necesario conectar dos medidores: uno instalado en la frontera (G) este se conecta por medio de BPL a la Gateway (H) permitiendo medir los valores de energía que son consumidos e inyectado hacia y desde la red eléctrica (I), el otro medidor (F) se debe instalar a la salida del inversor (C) con el fin de conocer cuanta energía es generada por los paneles fotovoltaicos (A). Para la monitorización del sistema se integra el Hub (D) el cual se comunica a través de Ethernet con los medidores (F y G) y con la Interfaz de Usuario (B), para el óptimo funcionamiento del Hub (D) la empresa proveedora recomienda el uso de un Router (E) compatible con DHCP. La estructura contiene un sistema de respaldo (L) que permite el almacenamiento de energía en un banco de baterías (M).

3.2 Evaluación del sistema de gestión energética residencial de la propuesta recomendada

Para la metodología de la evaluación del sistema de gestión energética residencial se tiene en cuenta la funcionalidad del sistema y un contraste con el escenario tradicional.

3.2.1 Funcionalidad del sistema

En la Tabla 3.1 se hace una descripción de la funcionalidad del sistema de gestión energética residencial.

Tabla 3.1. Funcionalidad del sistema

FUNCIONES	DESCRIPCIÓN
Consumo desagregado en tiempo casi real	El sistema tiene tres componentes para rastrear el consumo por aplicación y en % del consumo total: interfaz usuario, la toma inteligente y electrodomésticos inteligentes; por medio de los tomas y/o electrodomésticos los datos son enviados al Hub donde son procesados y presentados a la interfaz.
Retroalimentación al consumo	El sistema tiene una interfaz usuario soportado por un software robusto que permite contraste entre históricos de consumo y valor en pesos en tiempo real.
Control remoto ON/OFF	El sistema establece comunicación directa con los electrodomésticos inteligentes y con la toma inteligente para el control remoto de las cargas.
Comunicación y medición bidireccional con la empresa proveedora de energía.	Tiene un vínculo constante de comunicación con la empresa proveedora de energía a través del medidor inteligente y la Gateway, para programas de respuesta a la demanda y la tarifa diferencial y otros programas de Energía inteligente.
Gestión inteligente - Control inteligente	Los electrodomésticos inteligentes brindan al usuario las opciones de operación normal u operación basada en el precio del kWh, lo que posibilita la migración de carga para horas valle. El sistema de respaldo permite al usuario disminuir el consumo de energía eléctrica proveniente de la Empresa proveedora de energía.

Fuente: Autores

A continuación se presentan las características principales ofrecidas por los proveedores:

- **Corinex**

Corinex ofrece un módulo de comunicación Smart Grid Connect™ (SGC) la cual es una red de alta velocidad con bidireccionalidad en las comunicaciones, basada en el estándar IP, que está diseñado con aplicaciones avanzadas de AMI y con respuestas en tiempo real. La arquitectura de SGC es el líder en la industria, ofreciendo mayor ancho de banda, escalable y flexible [39].

La solución de comunicaciones BPL y **Smart Grid Connect** de Corinex apoya todas las necesidades de las aplicaciones de AMI y de Redes Inteligentes:

- ✓ La única solución comprobada en la industria (AMI, SmartGrid)
- ✓ Un mecanismo de auto-adaptación y de auto-recuperación
- ✓ Una solución interoperable para el soporte del proveedor de multi-medidores (Landis & Gyr, ZPA, IUSA, etc.)
- ✓ Notificación de eventos y la lectura del medidor en tiempo real
- ✓ Una avanzada integridad y validación de los datos

En la Tabla 3.2 se observa datos importantes de la oferta seleccionada:

Tabla 3.2 Características dispositivos Corinex

Características	Dispositivos	
	Medidor inteligente	Gateway
Referencia	CXM-SG200-Mxx	CXP-SG200-GWY
Técnicas	Monofásico Frecuencia: 60 [Hz] Tensión: 120-240 [V] Clase: 0.5	Frecuencia: 60 [Hz] tensión de entrada: 90-260[V]AC
Comunicación	HAN: Ethernet Con la empresa proveedora de Energía: BPL	BPL Ethernet
Funcionalidad	- Comunicación bidireccional - Tarifa diferencial (TOU), - Conexión y desconexión remota, - Perfil de Carga, - Notificación de eventos y la lectura del medidor, todo en	- Permite la comunicación inteligente para el sistema AMI. - Comunicación bidireccional en tiempo real con el módulo de comunicación.

	tiempo real - Gestión de la demanda de carga, en tiempo real.	
Seguridad	- Detección de robo y manipulaciones de electricidad. - Actualización remota del firmware	Encriptación de los datos para una mayor seguridad.

Fuente: Autores

- **ERASMUS⁶⁹**

ERASMUS ofrece sistemas y productos inteligentes para una monitorización de la instalación integral como parte de la transición energética global garantizando el beneficio ecológico y económico.

En cuanto a la gestión inteligente de la energía los dispositivos: Sunny Home Manager (Hub), Sunny Portal (Interfaz de usuario) y Sunny Backup (Sistema de respaldo) se complementan permitiendo un óptimo aprovechamiento de la energía fotovoltaica generada además de una monitorización cómoda de la instalación. De este modo, el usuario tienen una visión general sobre todos los flujos energéticos del hogar, ya que el sistema le indica recomendaciones de manejo, permitiendo el autoconsumo de la energía alterna y a su vez reducir el consumo de la energía eléctrica de la empresa proveedora de energía.

Adicionalmente el Sunny Home Manager tiene también en cuenta la tarifa energética variable, y permite gestionar la carga de forma integral. De esta forma, el equipo puede ajustar el consumo eléctrico del hogar no solo a la potencia momentánea de la instalación fotovoltaica, sino también a cada oferta energética de la red pública.

Además el usuario dispone de todas las funciones básicas del Sunny Portal para analizar, visualizar y presentarlos datos de la instalación. La pantalla de estado

⁶⁹ ERASMUS es proveedor local de la empresa SMA SOLAR TECHNOLOGY AG.

muestra los datos energéticos actuales como gráfico animado en directo, además de los valores numéricos⁷⁰.

En la Tabla 3.3 se observa datos importantes de la oferta seleccionada.

Tabla 3.3. Características dispositivos ERASMUS

Características	Dispositivos			
	Inversor	Hub	Toma inteligente	Sistema de respaldo
Referencia	SB 4000 TL - 21	Sunny Home Manager	SMA Radio-Controlled Socket	Sunny Backup SET S
Técnicas	Frecuencia: 60 [Hz] Tensión máxima de entrada: 550 [V] DC Corriente máxima: 15 [A] DC Tensión máxima de salida: 120 – 240 [V] AC. Potencia nominal: 4000[W] Corriente máxima: 20 [A] AC.	Frecuencia: 60[Hz] Voltaje de alimentación: 100-240[V] AC El número máximo de dispositivos que permite conectar es 16. Contiene una memoria interna.	Frecuencia: 60 [Hz] Tensión de alimentación: 100 – 240 [V] Corriente máxima: 16 [A]	- Consumidor: Frecuencia: 60 [Hz], Tensión 120 [V]AC, tiempo de interrupción en caso de caída del flujo eléctrico: 50 [ms] - Potencia máxima que soporta de la Instalación fotovoltaica: 4,6 [kW] - Solo es compatible con Inversores SMA. - Baterías: Tensión nominal: 24[V] DC.
Comunicación	HAN: Bluetooth Opcional vía RS485	HAN: Con el inversor por medio de Bluetooth y con el Sunny portal y el Medidor Inteligente por medio de Ethernet.	Bluetooth	Bluetooth
Funcionalidad	- Rendimiento de hasta un 95,6% - Gestión activa de la temperatura gracias al sistema de refrigeración OptiCool - Mejor rendimiento de adaptación con la	- Monitorización y gestión inteligente de la energía. - Ofrece una vista general de todos los flujos energéticos del hogar, indica recomendaciones de manejo y también permite controlar el consumo de forma automática a través de enchufes inalámbricos.	- Medición del consumo de las cargas conectadas. - Mantiene comunicación directa con el Hub, y está atento a las indicaciones que este dispositivo le ofrece.	- Puede instalarse en instalaciones fotovoltaicas. - Suministro de energía eléctrica y carga de las baterías a través de la red. - Alto rendimiento fotovoltaico constante. - Tiene la capacidad de inversión de AC a

⁷⁰ SMA Solar Technology AG. Consultada en enero de 2013, sitio web: <http://www.sma.de/en.html>.

	regulación MPP OptiTrac	- Hace posible un uso óptimo de la energía desde un punto de vista ecológico.		DC y viceversa.
--	-------------------------	---	--	-----------------

Fuente: Autores

3.2.2 Contraste con el escenario tradicional

Para analizar las ventajas de implementar el sistema se realizó el cálculo de la demanda máxima por estrato socioeconómico con base en la aplicación del método recomendado por la ESSA (Ver Anexo D), el resultado se observa en la Tabla 3.4.

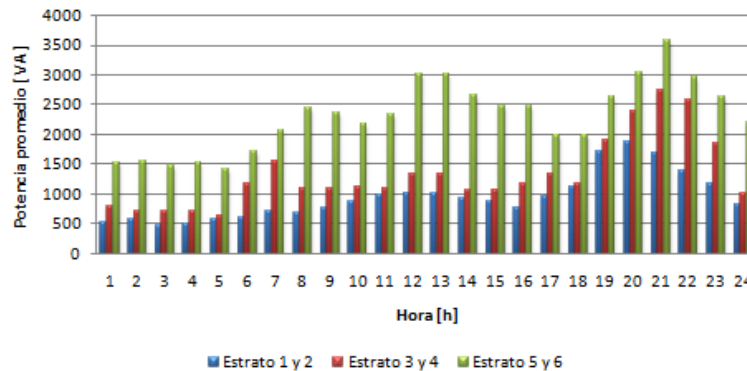
Tabla 3.4. Cálculo de la demanda máxima

CALCULO DE LA DEMANDA MÁXIMA			
ESTRATO	CARGA INSTALADA [kVA]	FACTOR DE DEMANDA	DEMANDA MÁXIMA [kVA]
1 y 2	3,99	0,5	1,995
3 y 4	6,95	0,4	2,78
5 y 6	13,1	0,3	3,93

Fuente: Autores

En la Figura 3.2 se observa la variación del consumo diario por estrato (1-2, 3-4, 5-6), esta obtuvo con base en la Tabla D-11 (Ver anexo D).

Figura 3.2 Consumo de potencia diario por estrato



Fuente: Autores.

Como se observa en la Figura 3.2. Para el estrato 1-2, 3-4 las horas en las que el consumo se incrementa es en el rango de las horas 19 a 22, para el estrato 5-6 se presenta dos picos en el consumo entre las horas 12 a 15 y 19 a 22. Con el propósito de disminuir estos picos se analizó la posibilidad de imprimir el sistema y analizar las ventajas en la disminución del consumo que ofrecería al usuario.

El contraste entre el perfil de carga tradicional y el perfil de carga después de la implementación de un sistema de gestión energética residencial, busca resaltar el beneficio de su implementación en la disminución del consumo de energía kWh.

- **Disminución del consumo de energía en kWh**

La disminución porcentual del consumo para los estratos 1-2, 3-4 y 5-6 se muestra en la Tabla 3.5 y en la Figura 3.3.

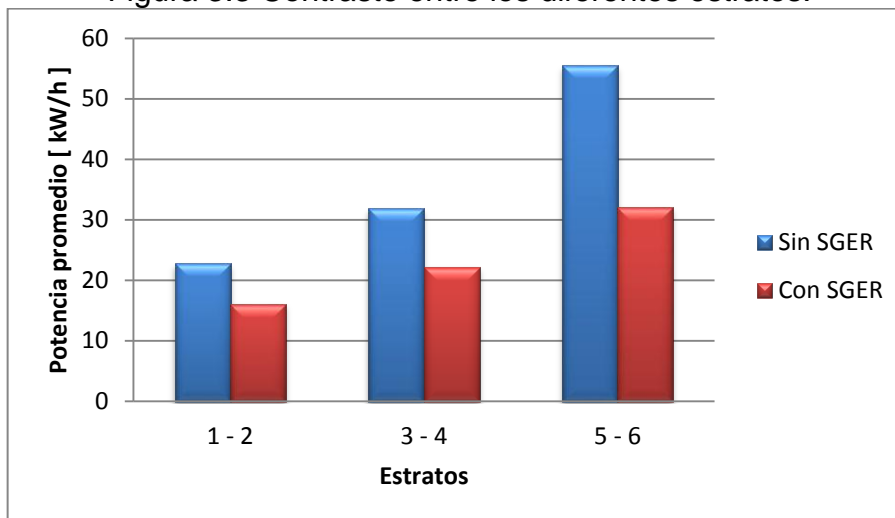
Tabla 3.5 Contraste entre los diferentes estratos

CONTRASTE ENTRE LOS DIFERENTES ESTRATOS				
ESTRATO	Perfil diario tradicional kWh	Perfil diario con SGER ⁷¹ kWh	Reducción del consumo kWh diario	Porcentaje de disminución
1 - 2	22,8	16,1	6,7	29,39%
3 - 4	31,9	22,2	9,7	30,41%
5 - 6	55,5	32,1	23,4	42,16%

Fuente: Autores

⁷¹ SGER: Sistema de Gestión Energética Residencial basado en medición inteligente y transferencia inteligente de potencia

Figura 3.3 Contraste entre los diferentes estratos.



Fuente: Autores.

La Tabla 3.5 y la Figura 3.3 representan el contraste entre el perfil de carga diario del usuario sin ningún tipo de sistema de gestión energética residencial y el mismo si se implementara un sistema de gestión energética residencial.

Resalta como resultado una reducción del consumo de acuerdo a cada estrato: para el estrato 1-2 presenta una reducción del consumo de 6,7 kWh diario equivalente a una disminución del 29,39%. Para el estrato 3-4 presenta una reducción del consumo de 9,7 kWh diario equivalente a una disminución del 30,41%. Y finalmente para el estrato 5-6 presenta una reducción del consumo de 23,4 kWh diario equivalente a una disminución del 42,16%.

El sistema es óptimo de acuerdo a la disminución aproximada de más del 29% dependiendo del tipo de estrato, es importante resaltar que la implementación del sistema de gestión residencial junto a un cambio en los hábitos culturales del usuario es importante para obtener un mayor beneficio en la implementación del sistema.

3.3 PRESUPUESTO GENERAL

En la Tabla 3.6 se presenta el costo unitario ofrecido por la empresa proveedora del sistema seleccionado. Con el fin de obtener un presupuesto aproximado de la adquisición de los dispositivos que integran el sistema de gestión energética se consultó en la web acerca de los precios aproximados de los dispositivos.

Tabla 3.6. Costo unitario oferta ERASMUS⁷²

Costo Unitario⁷³ € (EUR) oferta comercial ERASMUS		
Inversor	SB 4000TL-21	2665 €
Hub	Sunny Home Manager	273,17 €
Interfaz de usuario	SunnyBeam	187,8 €
Sistema de respaldo	Sunny Backup Set S	2559,76 €
Toma inteligente	SMA Radio-Controlled Socket	15,00 €

Fuente: Autores

⁷² ERASMUS: es el proveedor local de la empresa SMA

⁷³ El precio unitario de los equipos no incluye costos de envío e impuestos.

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En este capítulo se presentaran las principales conclusiones y recomendaciones de este trabajo de grado.

4.1 CONCLUSIONES

Como resultado de este trabajo de investigación se logró articular una alternativa para la gestión energética residencial por medio de la medición inteligente y la generación de energía eléctrica local por medio de fuentes alternativas. En este sentido se atendió la necesidad de garantizar la transferencia de energía entre el operador de red y las fuentes alternativas de una manera automática y eficiente, permitiendo al usuario aprovechar la fuente de energía más económica y confiable.

El medidor y la transferencia inteligente son dos componentes esenciales de una red inteligente doméstica con presencia de fuentes alternativas, en este sentido, la revisión de la oferta tecnológica disponible de estos dispositivos es un aspecto obligado para garantizar la compatibilidad y para mejorar la funcionalidad topológica de la red. El análisis técnico efectuado sobre la oferta disponible permitió identificar una variedad importante de dispositivos que realizan el registro y comunican al usuario los parámetros del consumo de las cargas por medio de señales y sistemas de comunicación locales, esto con el fin de propiciar decisiones que incidan en la gestión de la demanda, sin embargo pocos dispositivos realizan de manera automática la desconexión de las cargas con base en configuraciones predefinidas. Esta restricción tecnológica involucra a su vez una restricción técnica dada la necesidad de incorporar elementos adicionales para complementar la funcionalidad de la red inteligente, adicionalmente afecta la confiabilidad del sistema por la presencia de un mayor número de equipos y por la necesidad de configurar y parametrizar componentes adicionales, también

requiere fortalecer los servicios de soporte y mantenimiento creando una dependencia técnica y económica de servicios tercerizados o creando la necesidad de apropiación de conocimiento por parte de los usuarios de uso final para involucrarse directamente en las actividades de operación y mantenimiento de los componentes de la red inteligente, lo que resulta poco práctico desde la perspectiva de la mayoría de usuarios finales.

La expectativa inicial sobre los proveedores disponibles en el mercado local fue superada, lo cual refleja una buena dinámica en la dirección de mantener una oferta tecnológica variada para los usuarios con la intención de migrar los sistemas eléctricos tradicionales hacia los sistemas de redes inteligentes domésticas. Sin embargo en el mercado se advierte gran escepticismo sobre los beneficios de invertir en estos sistemas [58] y las inversiones se motivan primordialmente en los usuarios de los estratos socioeconómicos con mayor poder adquisitivo donde las decisiones se fundamentan en las tendencias tecnológicas del mercado y están poco motivadas por la gestión de la carga y la reducción del consumo de energía.

De acuerdo al análisis realizado en el capítulo tres de acuerdo al análisis de carga, el cálculo de la demanda máxima por estrato socio-económico se puede concluir que implementar un sistemas de gestión energética residencial representa un ahorro de más del 29% en el consumo diario de potencia representando ventajas económicas y ambientales para el usuario.

4.2 RECOMENDACIONES

Implementar un sistema de gestión energética residencial implica beneficios para todos los actores del sistema eléctrico, esta alternativa involucra beneficios económicos y ambientales gracias a la naturaleza y la funcionalidad de las opciones energéticas como las fuentes alternativas locales y el vehículo eléctrico,

sin embargo los precios de las tecnologías de redes inteligentes muchas veces exceden la voluntad y la capacidad económica de los usuarios.

Este escenario debe cambiar desde las iniciativas de alto nivel que permitan la evolución del marco legal, normativo y reglamentario colombiano para involucrar al usuario final mediante estrategias como la disponibilidad de subsidios económicos y las tarifas diferenciales, así como el acompañamiento técnico de los operadores de red. Adicionalmente se requieren campañas de socialización y adoptar un esquema de beneficios y restricciones que mejoren la relación costo beneficio relacionada al consumo energético de los usuarios residenciales. Es decir que para lograr la migración masiva hacia las redes inteligentes domésticas se requiere que el usuario promedio entienda los beneficios técnicos y económicos reales que se obtienen al involucrarse en la gestión de la demanda y en la mejora de la eficiencia energética de su sistema eléctrico.

ANEXOS

A. Reglamentación

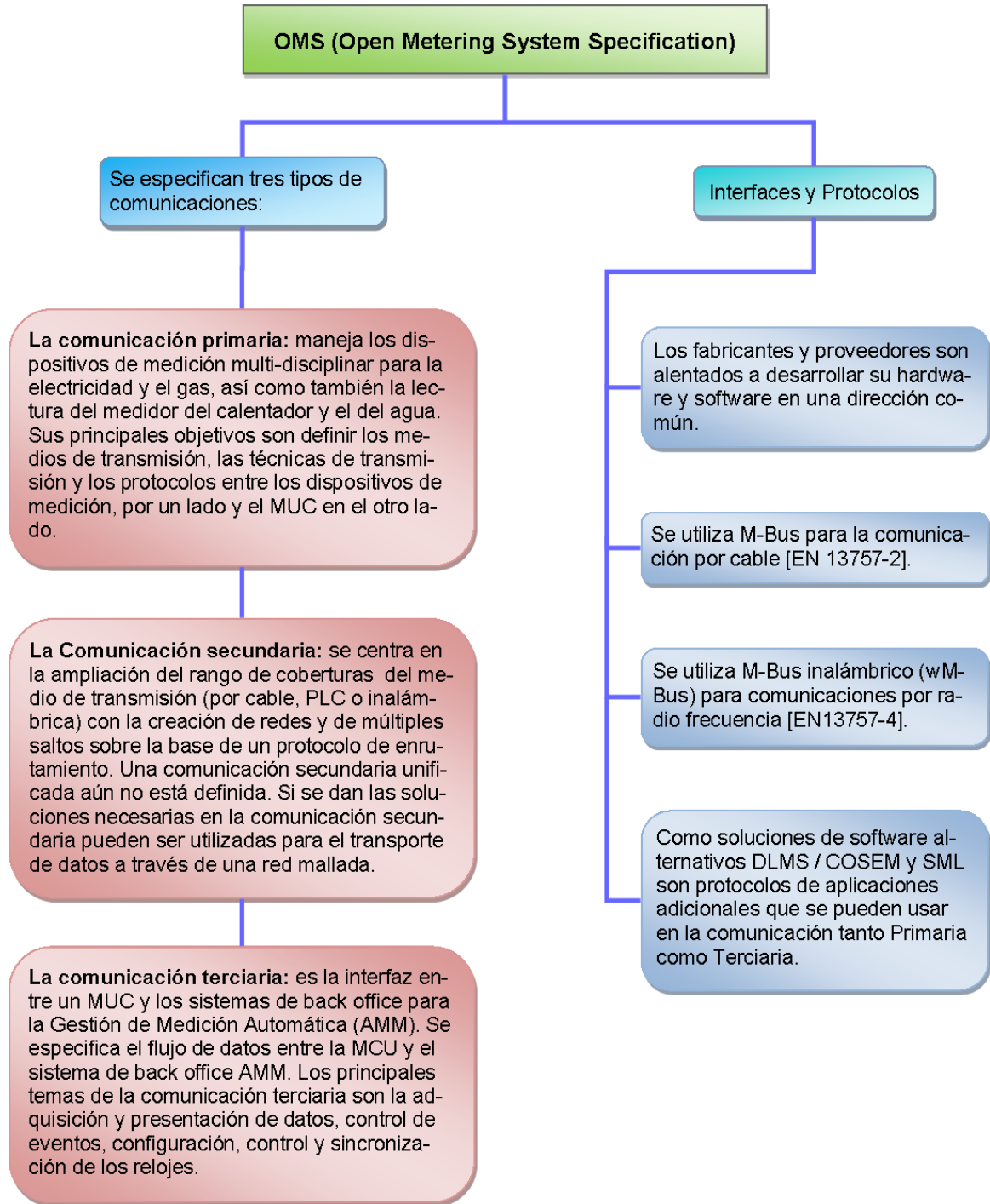


Figura A.1. Sistema de medición abierto [33]

RESOLUCIÓN 120 DE 2008 CÓDIGO DE MEDIDA

El código de medida establece las condiciones técnicas y procedimientos que se aplican a la medición de energía para efectos comerciales en el Sistema Interconectado Nacional y con otros países. Esta normatividad se orienta a definir las características técnicas y establecer los requerimientos que deben cumplir los Sistemas de Medición en relación con la certificación, instalación, operación y protección del mismo.

Responsabilidad de los Representantes de las Fronteras de Medición:

- Asegurar que el Sistema de Medición y todos sus componentes, cumplan con los requerimientos de precisión y calibración establecidos.
- Asegurar que los medios de comunicación sean instalados y mantenidos adecuadamente para su correcto funcionamiento.

Componentes del Sistema de Medición:

- Un panel o caja de seguridad para el medidor y el registro de los datos.
- Un medidor.
- Un sistema de almacenamiento de datos.
- Los dispositivos de interfaz de comunicación.
- Facilidades de procesamiento de información.
- Circuitos de alarmas, seguridad y monitoreo de los sistemas.
- Transformador de voltaje y de corriente.

Requisitos Generales de los Sistemas de Medición:

- Todos los Sistemas de Medición deben contar con el tipo de conexión acorde con el nivel de tensión y la magnitud de la carga a la cual se le va a medir el consumo de energía.
- Los equipos que conformen el Sistema de Medición, deberán contar con un certificado de producto.
- Los equipos de medida deben cumplir con la Clase o los Índices de clase y el sistema de medición debe cumplir con los niveles de error establecidos.
- Cuando el punto de medición esté ubicado en puntos de la red en los que se presentan flujos de potencia en ambos sentidos, se instalarán medidores bidireccionales.

Certificación de producto:

- Los elementos que conforman los Sistemas de Medición deberán contar con una certificación de conformidad de producto expedida por una entidad acreditada por la Superintendencia de Industria y Comercio, cuando así lo disponga la reglamentación técnica vigente.

Verificación de las condiciones técnicas por el operador de red:

- Cumplimiento de las características técnicas.
- Certificación del Equipo de Medida.
- Sellado del Equipo de Medida.
- Ubicación del Equipo de Medida.
- Calibración del Equipo de Medida.

Figura A.2. Código de Medida [34]



Figura A.3. Ley 697 de 2001 “Ley URE” [35]



Figura A.4. Programa de Uso Racional y Eficiente de la Energía y demás Formas de Energía No Convencionales PROURE [41]



Figura A.5 Decreto 3683 de 2003. [36]

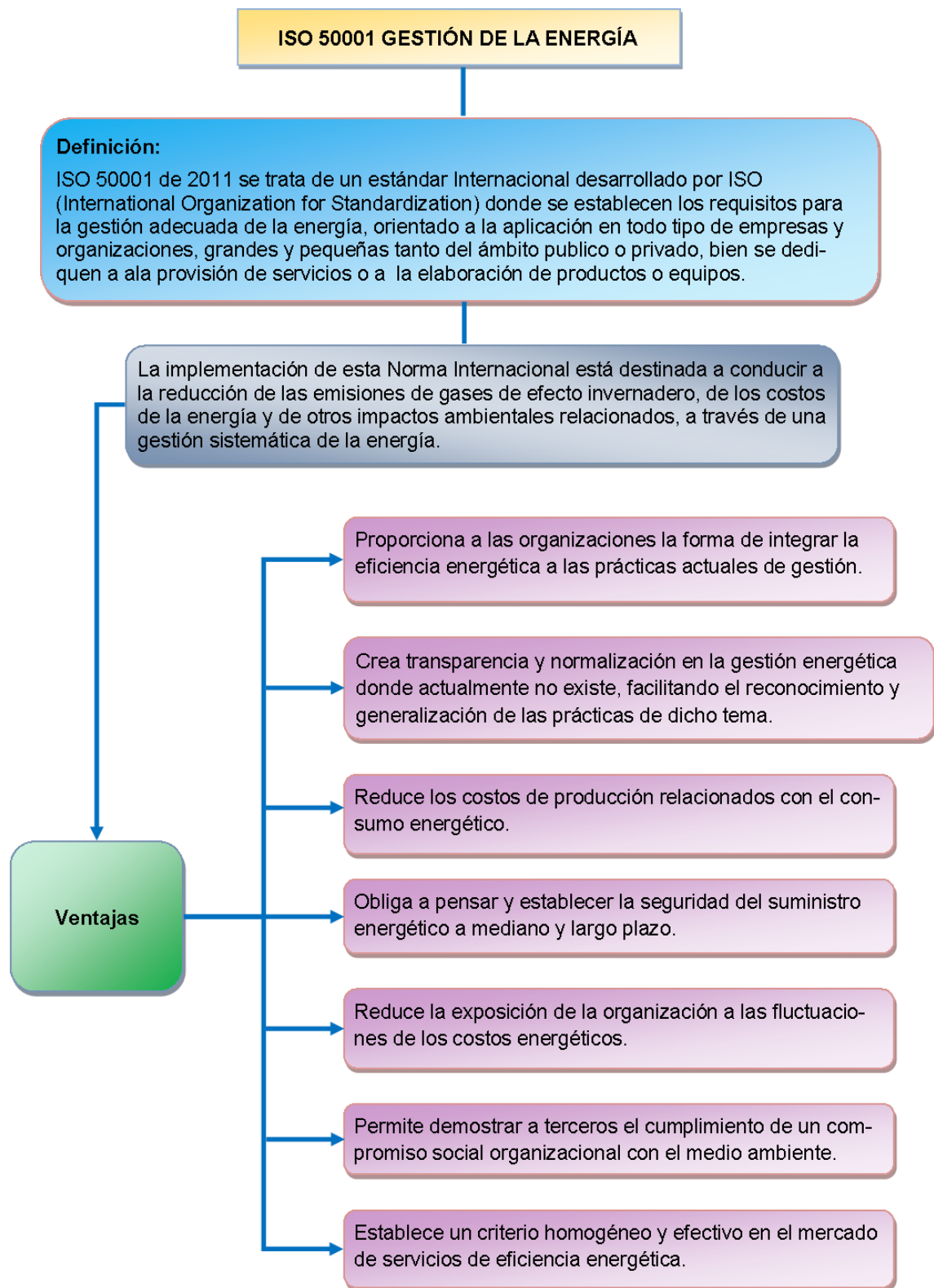


Figura A.6. ISO 50001 [38]

B. Descripción de la tarjeta principal del inversor

La principal función de inversor es el de convertir voltaje DC variable de la luz solar en los paneles fotovoltaicos o de un banco de baterías, en un voltaje AC y frecuencia específico para su uso en aplicaciones al interior del hogar inteligente (Smart Home) o para ser retroalimentada de la red eléctrica. El voltaje AC de salida del inversor varía dependiendo a la región en la que sea instalado, por lo que debe ser programado con las especificaciones regionales antes de activar su funcionamiento. [25]

La tarjeta principal del inversor fotovoltaico solar está constituida por diferentes elementos que en conjunto pueden diferenciarse en diferentes etapas, el voltaje que es recolectado por los paneles solares recorre estas diferentes etapas con el fin de modificar sus principales características antes de poder ser inyectados a la red. En la Figura B.1 se presenta un diagrama de bloques genérico en donde se aprecian las diferentes etapas del inversor, a continuación se hace mención a las diferentes etapas que constituyen el inversor y una pequeña explicación:

1. La primera etapa es un filtro el cual está constituido por:
 - Una tecnología Multi-String con dos convertidores DC independientes.
 - Cada uno de las dos entradas DC utiliza condensadores de supresión EMI.
 - Filtros inductores DC.
 - Dos capacitores convertidores de impulso suavizadores.
2. La segunda etapa son unos relés que es el sistema de protección y aislamiento entre las líneas de red y el sistema de tierra.
3. La tercera etapa está constituida por un transductor de efecto Hall para la medición de la corriente eléctrica. [25]

4. La cuarta etapa está compuesta por un banco de capacitores electrolíticos, filtro suavizante, los cuales son adecuados para el control de la onda.

5. La quinta etapa es un módulo de aumento de potencia DC-DC, también incluye un puente H constituido por MOSFET los cuales convierten la señal de entrada en la salida deseada (230 V / 50 Hz) dependiendo a la región en donde se encuentre instalado el inversor, esta etapa se encuentra toda en una tarjeta aparte la cual se instala en la tarjeta principal. Las principales características del circuito convertidor DC-AC son:

- El convertidor DC-DC aumenta o disminuye el voltaje proveniente del panel fotovoltaico solar, además ajusta la salida para obtener una mayor eficiencia en la etapa DC-AC.
- Los condensadores de almacenamiento se utilizan como protección contra los altos voltajes.
- El puente H4 contiene MOSFET o IGBT, utilizan una frecuencia de conmutación elevada, del rango de 20 kHz para crear la tensión AC requerida.
- Las bobinas suavizan la señal de AC haciéndola más sinusoidal para poder ser inyectada a la red

6. La sexta etapa de la tarjeta está constituida por unos relés de protección, los cuales contiene un sensor de nivel de tensión y frecuencia, el inversor cuenta con la capacidad de desconectarse de la red eléctrica local cuando los niveles de tensión o frecuencia superan los estándares permitidos. [25]

7. La etapa siete del inversor consiste en un filtro AC el cual se divide en varias partes:

- Filtro de la señal de salida sinusoidal el cual contiene grandes inductores.
- Capacitores de supresión EMI.

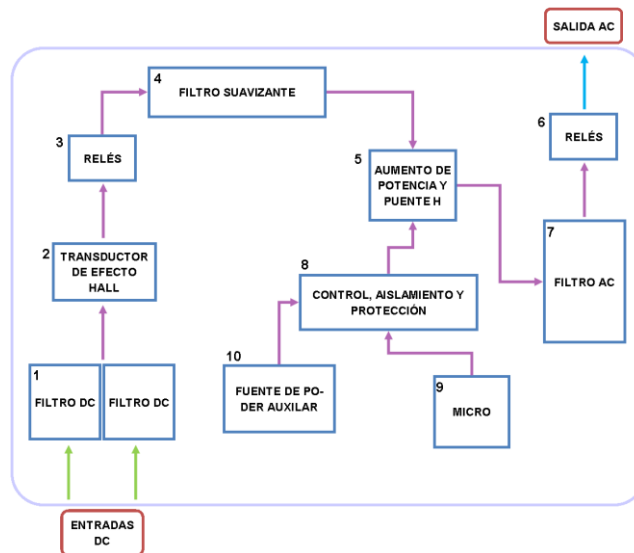
- Filtro de salida AC.

8. La etapa ocho está diseñada con opto-acopladores para controlar los MOSFET o IGBT a la frecuencia que se requiere desde el Micro-controlador, además los opto-acopladores brindan aislamiento y protección para evitar que se dañe el puente H.

9. La novena etapa es la arquitectura de control que está equipado con un micro-controlador el cual proporciona un alto nivel de rendimiento computacional y la flexibilidad de programación necesaria para el procesamiento de señales en tiempo real.

10. La etapa diez es un suministro auxiliar de alimentación en la tarjeta para todos los circuitos integrados de la tarjeta. [25]

Figura B.1. Diagrama de bloques genérico de un Inversor



Fuente: Autores [25]

D. Cálculo de la demanda máxima por estrato socioeconómico

El cálculo de la demanda máxima por estrato socioeconómico se basó en la aplicación del método opcional recomendado por la ESSA S.A. en el numeral 2.3 de su publicación “Normas para cálculo y diseño de sistemas de distribución” [40]. A continuación se expone cada etapa de la metodología establecida.

- **Factores de demanda**⁷⁴

Los factores de demanda para los diferentes estratos socioeconómicos, se presenta en la Tabla D-1.

Tabla D-1. Factor de demanda.

DESCRIPCIÓN	CARGA[VA]	FACTOR DE DEMANDA [%]
Estrato 1 y 2	Carga del aparato de mayor potencia	100
	Resto de carga	50
Estrato 3 y 4	Carga del aparato de mayor potencia	100
	Resto de carga	40
Estrato 5 y 6	Carga del aparato de mayor potencia	100
	Resto de carga	30

- **Metodología**

El método opcional recomendado por la ESSA S.A. para determinar la carga máxima por usuario se basa en lo permitido por el artículo 220-37 del Código Eléctrico Colombiano, NTC 2050.

La carga mínima instalada por usuario⁷⁵ debe ser:

⁷⁴ Factor de demanda: Razón de la demanda máxima de un sistema a la carga instalada en el mismo.

⁷⁵ Usuario: Persona natural o jurídica que se beneficia con la prestación de un servicio público, bien como propietario del inmueble donde éste se presta, o como receptor directo del servicio.

- $32 \left[\frac{VA}{m^2} \right]$ para cargas de alumbrado general.
- Carga mínima para lavadora y plancha: 1500 [VA]
- Carga mínima para uno o más circuitos de pequeños aparatos: 1500[VA] por circuito

Demanda máxima por usuario residencial:

$$D_{max} = S_M + (S_i - S_M) * F_d$$

Donde:

S_M : Carga del aparato de mayor potencia

S_i : Carga instalada por usuario

F_d : Factor de demanda

- **Dotación de electrodomésticos y aparatos para los estratos socioeconómicos**

Se definió tres propuestas de gestión energética residencial para los estratos bajos (1-2), los estratos intermedios (3-4) y los estratos altos (5-6) respectivamente, además es la base para el cálculo de la demanda máxima ya que da una idea de las cargas eléctricas manejadas por dichos usuarios

Teniendo en cuenta la similitud entre estratos 1-2, 3-4, 5-6 además y, se propone el establecimiento de cargas presentado en la Tabla D-2, Tabla D-3 y Tabla D-4 para los estratos.

Tabla D-2. Dotación de Electrodomésticos para un Usuario de Estrato 1 y 2.

CARGAS PARA LOS ESTRATOS 1 y 2			
Electrodomésticos	Carga [W]	Unidades	Carga Parcial [W]
Equipo de Sonido	150	1	150
Licuadaora	100	1	100
Nevera	250	1	250
Televisor	150	1	150

Ventilador común	150	2	300
Lavadora	500	1	500
Cargador Teléfono Móvil	10	2	20
Plancha	1000	1	1000
TOTAL			2470

Tabla D-3. Dotación de Electrodomésticos para un Usuario de Estrato 3 y 4.

CARGAS PARA LOS ESTRATOS 3 y 4			
Electrodomésticos	Carga [W]	Unidades	Carga Parcial [W]
Computador	250	1	250
Computador Portátil	60	1	60
Equipo de Sonido	150	1	150
DVD	30	1	30
Grabadora	100	1	100
Horno Microondas	800	1	800
Licuadaora	100	1	100
Nevera	250	1	250
Televisor	150	2	300
Sandwichera	600	1	600
Ventilador común	150	2	300
Lavadora	500	1	500
Cargador Teléfono Móvil	10	3	30
Plancha	1000	1	1000
TOTAL			4470

Tabla D-4. Dotación de Electrodomésticos para un Usuario de Estrato 5 y 6.

CARGAS PARA LOS ESTRATOS 5 y 6			
Electrodomésticos	Carga [W]	Unidades	Carga Parcial [W]
Computador	250	1	250
Computador Portátil	60	2	120
Equipo de Sonido	150	1	150
DVD	30	1	30

Grabadora	100	1	100
Horno Microondas	800	1	800
Licuadaora	100	1	100
Nevera	250	1	250
Televisor	150	4	600
Sandwichera	600	1	600
Aire acondicionado Multi Split	1530	1	1530
Lavadora	500	1	500
Plancha	1000	1	1000
Tostadora	980	1	980
Batidora	250	1	250
Cafetera	550	1	550
Exprimidor Eléctrico	300	1	300
Aspiradora	900	1	900
Teatro en Casa	92.1	1	92.2
Cargador Teléfono Móvil	10	3	30
Modem	30	1	30
Decodificador TV	11	4	44
TOTAL			9114

- **Cálculo de la demanda máxima para los estratos 1 y 2– primer escenario de gestión energética residencial**

La Tabla D-5 muestra el cálculo de la capacidad instalada para los estratos 1 y 2. El área construida es la única diferencia significativa entre los estratos 1 y 2, por lo que se estable como área el promedio entre las áreas de los estratos 1 y 2 para el cálculo de la demanda máxima del primer escenario.

$$Carga\ parcial = Lavado\ y\ Planchado + Electrodomésticos = 1500VA + 970 = 2470VA$$

Tabla D-5. Cálculo de la capacidad instalada para los estratos 1 y 2

ESTRATO	DESCRIPCIÓN	CARGA [VA/m ²]	AREA [m ²]	CARGA INSTALADA [VA]
1	Carga alumbrado y general	32	40	1280
	Lavado y Planchado			1500
	Electrodomésticos			970

	TOTAL			3750
2	Carga alumbrado y general	32	55	1760
	Lavado y Planchado			1500
	Electrodomésticos			970
	TOTAL			4230
1 y 2	Carga alumbrado y general	32	47,5	1520
	Lavado y Planchado			1500
	Electrodomésticos			970
	TOTAL			3990

La Tabla D-6 muestra el cálculo de la demanda máxima para los estratos 1 y 2.

Tabla D-6. Cálculo de la demanda máxima para los estratos 1 y 2

CALCULO DE LA DEMANDA MÁXIMA			
ESTRATO	CARGA INSTALADA [VA]	FACTOR DE DEMANDA	DEMANDA MÁXIMA [VA]
1	3750	0,5	1875
2	4230	0,5	2115
Primer escenario	3990	0,5	1995

- ***Cálculo de la demanda máxima para los estratos 3 y 4– segundo escenario de gestión energética residencial***

La Tabla D-7 muestra el cálculo de la capacidad instalada para los estratos 3 y 4. El área construida es la única diferencia significativa entre los estratos 3 y 4, por lo que se estable como área el promedio entre las áreas de los estratos 3 y 4 para el cálculo de la demanda máxima del primer escenario.

$$\begin{aligned}
 \text{Carga parcial} &= \text{Lavado y Planchado} + \text{Electrodomésticos} = 1500VA + 2970VA \\
 &= 4470 VA
 \end{aligned}$$

Tabla D-7. Cálculo de la capacidad instalada para los estratos 3 y 4

ESTRATO	DESCRIPCIÓN	CARGA [VA/m ²]	AREA [m ²]	CARGA INSTALADA [VA]
3	Carga alumbrado y general	32	70	2240
	Lavado y Planchado			1500
	Electrodomésticos			2970
	TOTAL			6710
4	Carga alumbrado y general	32	85	2720
	Lavado y Planchado			1500
	Electrodomésticos			2970
	TOTAL			7190
3 y 4	Carga alumbrado y general	32	77,5	2480
	Lavado y Planchado			1500
	Electrodomésticos			2970
	TOTAL			6950

La Tabla D-8 muestra el cálculo de la demanda máxima para los estratos 3 y 4.

Tabla D-8. Cálculo de la demanda máxima para los estratos 3 y 4.

CALCULO DE LA DEMANDA MÁXIMA			
ESTRATO	CARGA INSTALADA [VA]	FACTOR DE DEMANDA	DEMANDA MÁXIMA [VA]
3	6710	0,4	2684
4	7190	0,4	2876
3 y 4	6950	0,4	2780

- ***Cálculo de la demanda máxima para los estratos 5 y 6– tercer escenario de gestión energética residencial***

La Tabla D-9 muestra el cálculo de la capacidad instalada para los estratos 5 y 6. El área construida es la única diferencia significativa entre los estratos 5 y 6, por lo que se estable como área el promedio entre las áreas de los estratos 5 y 6 para el cálculo de la demanda máxima del primer escenario.

$$\begin{aligned} \text{Carga parcial} &= \text{Lavado y Planchado} + \text{Electrodomésticos} = 1500\text{VA} + 7589\text{VA} \\ &= 9114\text{VA} \end{aligned}$$

Tabla D-9. Cálculo de la capacidad instalada para los estratos 5 y 6

ESTRATO	DESCRIPCIÓN	CARGA [VA/m ²]	AREA [m ²]	CARGA INSTALADA [VA]
5	Carga alumbrado y general	32	107	3424
	Aire acondicionado			1530
	Electrodomésticos			7584
	TOTAL			12538
6	Carga alumbrado y general	32	143	4576
	Aire acondicionado			1530
	Electrodomésticos			7584
	TOTAL			13690
5 y 6	Carga alumbrado y general	32	125	4000
	Aire acondicionado			1530
	Electrodomésticos			7584
	TOTAL			13114

La Tabla D-10 muestra el cálculo de la demanda máxima para los estratos 5 y 6.

Tabla D-10. Cálculo de la demanda máxima para los estratos 5 y 6.

CALCULO DE LA DEMANDA MÁXIMA			
ESTRATO	CARGA INSTALADA [VA]	FACTOR DE DEMANDA	DEMANDA MÁXIMA [VA]
5	12538	0,3	3761,4
6	13690	0,3	4107
5 y 6	13114	0,3	3934,2

Con el valor de la demanda máxima de acuerdo a cada estrato se multiplica por el valor por unidad de cada estrato con el fin de obtener el consumo VAh diario. Como se observa en la tabla D-11.

Tabla D-11. Demanda promedio hora por estrato

DEMANDA PROMEDIO HORA						
HORA	ESTRATO 1 Y 2		ESTRATO 3 y 4		ESTRATO 5 y 6	
	Valor por Unidad	VA/h	Valor por Unidad	VA/h	Valor por Unidad	VA/h
1	0,29	543,75	0,29	806,2	0,39	1534,338
2	0,31	581,25	0,26	722,8	0,395	1554,009
3	0,26	487,5	0,26	722,8	0,38	1494,996
4	0,27	506,25	0,26	722,8	0,39	1534,338
5	0,31	581,25	0,235	653,3	0,365	1435,983
6	0,33	618,75	0,425	1181,5	0,44	1731,048
7	0,38	712,5	0,565	1570,7	0,525	2065,455
8	0,37	693,75	0,4	1112	0,625	2458,875
9	0,41	768,75	0,4	1112	0,605	2380,191
10	0,47	881,25	0,405	1125,9	0,555	2183,481
11	0,53	993,75	0,395	1098,1	0,595	2340,849
12	0,55	1031,25	0,48	1334,4	0,77	3029,334
13	0,54	1012,5	0,48	1334,4	0,77	3029,334
14	0,5	937,5	0,385	1070,3	0,68	2675,256
15	0,47	881,25	0,39	1084,2	0,63	2478,546
16	0,42	787,5	0,43	1195,4	0,63	2478,546
17	0,52	975	0,48	1334,4	0,51	2006,442
18	0,61	1143,75	0,43	1195,4	0,51	2006,442
19	0,92	1725	0,69	1918,2	0,67	2635,914
20	1	1875	0,86	2390,8	0,775	3049,005
21	0,9	1687,5	0,99	2752,2	0,915	3599,793
22	0,75	1406,25	0,93	2585,4	0,755	2970,321
23	0,63	1181,25	0,665	1848,7	0,67	2635,914
24	0,45	843,75	0,365	1014,7	0,565	2222,823

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] U.S. Department of Energy. The Smart Grid. Página web. http://www.smartgrid.gov/the_smart_grid#smart_grid. Consultado en febrero 2012
- [2] Richard Harper, “Inside the Smart Home, pág.31”, Springer-Verlag London Limited 2003, disponible en: <http://es.scribd.com/doc/18765734/inside-the-smart-home>
- [3] Hugo Martín Domínguez, Fernando Sáez Vacas, “Domotica: Un enfoque sociotécnico, pág.13”, primera edición Junio 2006, disponible en: <http://es.scribd.com/doc/50922955/2/Capitulo-2-Conceptos-y-terminologia>.
- [4] Reliant e-Sensesmartenergysolutions, consultado Noviembre 2011, disponible en: http://www.reliant.com/PublicLinkAction.do?i_chronicle_id=0901752280310b9f&language_code=es_US&i_full_format=jsp.
- [5] Center Point Energy, consultado Noviembre 2011, disponible en: <http://www.centerpointenergy.com/services/electricity/business/medidoresinteligentes/comofuncionanlosmedidores/>.
- [6] CumminsPowerGeneration, consultado Febrero 2012, disponible en: <http://www.cumminspower.com/es/technical/application/t011/>
- [7] SuzhouZhongzuanElectricalEquipment Manufacture, consultado Febrero 2012, disponible en: <http://www.1zgzzes.com/7-transfer-switch.html>
- [8] Energía Solar España, disponible el 9/20/2011, consultado Febrero 2012, disponible en: <http://www.energiasolaresp.com/2011/09/autoconsumo-100-energia-solar-coche.html>

- [9] CMOS, UPS. Estabilizadores de Tensión, disponible el 26/06/2003, consultado febrero 2012, disponible en: http://www.cmos.com/pdfsproductos/manual_de_ventas_UPS_reducido.pdf
- [10] Colombia inteligente (Marzo de 2011) [Consultado Febrero 2012]. Página web. http://www.colombiainteligente.com.co/Documents/Doc_Motivacion_RedeseInteligentesCol_160311.pdf.
- [11] Horizon Utilities, consultado el 29/02/2012, disponible en: http://www.horizonutilities.com/HHSC/html/smart_meter/sm_how.jsp
- [12] Popular Mechanics (Abril 16 de 2010) [consultado el 01/03/2012], disponible en: http://www.popularmechanics.com/home/improvement/electrical-plumbing/how_your_circuit_breaker_works
- [13] Smart Grid City, consultado el 01/03/2012, disponible en: <http://jcwinnie.biz/wordpress/?p=2846>
- [14] Smart Meters for Power Grid – Challenges, Issues, Advantages and Status, Soma Shekara Sreenadh Reddy Depuru, Lingfeng Wang, Vijay Devabhaktuni and Nikhil Gudi, disponible en: IEEE. 2011.
- [15] Meneses Zambrano Cesar Julián, Zambrano Olarte Juan Carlos: Estado del arte de los algoritmos de lógica adaptativa de las actividades humanas en el enfoque de redes inteligentes. Tesis de Pregrado, UIS, Bucaramanga, 2011
- [16] Francisco Casellas, Guillermo Velasco, Francesc Guinjoan y Robert Pique: El concepto de Smart Metering en el nuevo escenario de distribución eléctrica. IEEE. 2010.
- [17] Gustavo Archila, Walter Gómez: Caracterización tecnológica de la topología de un sistema de gestión energético residencial, 2012. Trabajo de grado. Universidad Industrial de Santander.

- [18] John Bryson, Patrick D. Gallagher: NIST Framework and Roadmap for Smart Grid Interoperability Standards. NIST SpecialPublication 1108R2 (en línea). Disponible Febrero 2012. Disponible en: http://www.nist.gov/smartgrid/upload/NIST_Framework_Release_2-0_corr.pdf.
- [19] Yong Zhao, Wanxing Sheng, Junping Sun, Weijun Shi: Research and Thinking of Friendly Smart Home Energy System Basedon Smart Power.IEEE. 2011.
- [20] Smart Meter. Toshiba Corporation. Consultado en febrero de 2013, disponible en:http://www.semicon.toshiba.co.jp/eng/application/industry/smart_meter/index.html
- [21] Klaas De Craener, Geert Deconinck: Analysis of State of the art Smart Metering Communications Standards.Lirias. 2010.
- [22] Jorge Carlos Valverde Rebaza, "El Estándar Inalámbrico ZigBee". Universidad Nacional de Trujillo. Trujillo Perú 2007. <http://www.seccperu.org/files/ZigBee.pdf>
- [23] The Standard for In Home Smart Grid Powerline Communications. Homeplug Powerline. Alliance. 2012.
- [24] Estándar LonWorks. Asistencia Técnico para la Construcción Sostenible (ATECOS).http://www.miliarium.com/ATECOS/HTML/soluciones/Fichas/Estandar_LonWorks.pdf.
- [25] Teardown: The power inverter from sunlight to power grid. Steve Taranovich. EDN Network, 13 de Enero 2012. Consultado en febrero de 2013, disponible en: <http://www.edn.com/design/analog/4368876/Teardown-The-power-inverter--from-sunlight-to-power-grid>.
- [26] SMA Solar Technology AG. Consultada en enero de 2013, sitio web: <http://www.sma.de/en.html>.

[27] Home Energy Management Systems (HEMS), Hitachi Ltd. Consultado febrero de 2013, sitio web: <http://www.hitachi.com/products/smartcity/solution/hems/index.html>.

[28] Marco V. Coronel Gutiérrez: Estudio para la implementación del sistema de infraestructura de medición avanzada (AMI) en la empresa eléctrica regional Centro Sur C. A. 2011. Trabajo de grado. Universidad Politécnica Salesiana Ecuador.

[29] Carlos Andrés Díaz Andrade, Juan Carlos Hernández: Smart Grid: Las TICs y la modernización de las redes de energía eléctrica – Estado del arte. Revista S&T, 9(18), 53-81. Universidad Icesi (Septiembre 2011). Disponible en: http://www.icesi.edu.co/revistas/index.php/sistemas_telematica/article/viewFile/1075/1096.

[30] RevistadSPACE. Smart Home: Self-sufficient with the wind and the sun (en línea) Disponible Diciembre 2012. Paderborn, Alemania 64 P. Cuatrimestral. Disponible en: http://www.dspace.com/shared/data/bkm/Magazin2012-02_en/blaetterkatalog/.

[31] DETEA. El futuro de la distribución eléctrica: Las redes Inteligentes (en línea). Disponible el 21 de Septiembre 2011. Disponible en: http://www.detea.es/nav/Para_saber_mas/Atrevete_saber/noticia_0033_redes_inteligentes.html.

[32] Janelle La March, Katherine Cheney, Kurt Roth, Olga Sachs: Home Energy Management: Product & Trends. Fraunhofer Center for Sustainable Energy Systems 2011. ACEEE Summer Study on Energy Efficiency en Buildings.

[33] OMS Group Open Metering System. Consultada en Enero de 2013, sitio web: http://www.oms-group.org/en_index.html.

[34] Colombia. Ministerio de Minas y Energía. Resolución 120 de 2007. Por medio de la cual se adopta la Guía de Políticas y Buenas Prácticas Ambientales en la Contaduría General de la Nación.

[35] Colombia. Ministerio de Minas y Energía. Ley 697 de 2001 Ley URE. Mediante la cual se fomenta el uso racional y eficiente de la energía, se promueve la utilización de energías alternativas y se dictan otras disposiciones.

[36] Colombia. Ministerio de Minas y Energía. Decreto 3683 de 2003. Por el cual se reglamenta la Ley 697 de 2001 y se crea una Comisión Intersectorial.

[37] Unidad de Planeación Minero Energética – UPME, “Programa Colombiano de Normalización, Acreditación Certificación y Etiquetado de Equipos de Uso Final de Energía – CONOCE.”

[38] International Organization for Standardization – ISO: ISO 50001 Gestión de la Energía, 2011.

[39] Corinex Communications. Consultada en febrero de 2013, sitio web: <http://www.corinex.com/>.

[40] Electrificadora de Santander S.A.: Normas para cálculo y diseño de sistemas de distribución.

[41] Colombia. Ministerio de Minas y Energía. Informe final PROURE.

[42] Echelon Corporation. Consultada en diciembre de 2012, sitio web: <http://www.echelon.com/>.

[43] Growatt New Energy Technology Co. Consultada en febrero de 2013, sitio web: <http://www.ginverter.com/>.

[44] Landis+Gyr. Consultada en diciembre de 2012, sitio web: <http://www.landisgyr.com/>.

[45] Shenzhen Star Instrument. Consultada en diciembre de 2012, sitio web: www.szstar.com/en/Index.aspx.

[46] EnergyHub. Consultada en enero de 2012, sitio web: <http://www.energyhub.com/>.

[47] Home Automation Inc (HAI). Consultada en diciembre de 2012, sitio web: <http://www.homeauto.com/main.asp>.

[48] AlertMe. Consultada en febrero de 2012, sitio web: <https://www.alertme.com/>.

[49] Energía y Movilidad. Consultada en marzo de 2012, sitio web: <http://energiaymovilidad.com/>.

[50] Solar watt System Intelligenz. Consultada en marzo de 2012, sitio web: <http://www.solarwatt.de/en/home/>.

[51] EnOcean Alliance. Consultada en febrero de 2012, sitio web: <http://www.enocean-alliance.org/en/home/>.

[52] Icontrol Networks. Consultada en diciembre de 2012, sitio web: <http://www.icontrol.com/>.

[53] Efergy Technologies. Consultada en diciembre de 2012, sitio web: <http://www.efergy.com/>.

[54] Erasmus. Consultada en marzo de 2012, sitio web: <http://www.erasmus.com.co/>.

[55] Elster Metaring. Consultada en diciembre de 2012, sitio web: <http://www.elstermetering.com/>.

[56] Schneider Electric. Consultada en diciembre de 2012, sitio web: <http://www.schneider-electric.com>.

[57] General Electric. Consultada en diciembre de 2012, sitio web: <http://www.ge.com/co/>.

[58] Alexandra-Gwyn Paetz, Eisabeth Dütscheke, Wolf Fichtner: Smart Homes as a Means to Sustainable Energy Consumption: A Study of Consumer Perceptions. Octubre 2011 Springer Science+Business Media.