

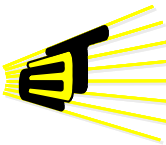
**CARACTERIZACIÓN TECNOLÓGICA DE LA TOPOLOGÍA DE UN SISTEMA DE
GESTIÓN ENERGÉTICA RESIDENCIAL.**

Walter Gómez Rodríguez

Gustavo Adolfo Archila Ramírez



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



Universidad Industrial de Santander
Facultad de Ingenierías Físico Mecánicas
Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones
Bucaramanga
2012

CARACTERIZACIÓN TECNOLÓGICA DE LA TOPOLOGÍA DE UN SISTEMA DE GESTIÓN ENERGÉTICA RESIDENCIAL.

Walter Gómez Rodríguez

Gustavo Adolfo Archila Ramírez

Trabajo de investigación presentado como requisito para optar al título de:
Ingeniero Electricista

Director:

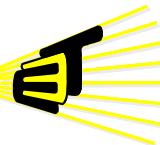
MsC. Manuel José Ortiz Rangel

Codirector:

Dr. Gabriel Ordóñez Plata



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



Universidad Industrial de Santander
Facultad de Ingenierías Físico Mecánicas
Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones
Bucaramanga
2012

Agradecimientos

A Dios dador de todas las cosas
A mi familia y a Isa
A mis amigos
- Walter

A Dios todopoderoso y eterno
A la Virgen María
A mis padres y hermanos, que son la razón de mí vivir
A mis amigos
- Gustavo

Índice

1	Introducción	14
1.1.	Energía eléctrica en el sector residencial colombiano	15
1.1.1.	Conformación de los usuarios finales de energía eléctrica en Colombia	16
1.1.2.	Proyección de la demanda de energía eléctrica en Colombia	16
1.2.	Gestión de energía eléctrica residencial	17
1.2.1.	Sistemas de gestión energética residenciales	17
1.3.	Finalidad y objetivos	20
1.4.	Estructura del proyecto	20
2.	Sistema de gestión energética residencial.	22
2.1.	Infraestructura de medición de avanzada	23
2.1.1.	Requerimientos de la infraestructura de medición avanzada	23
2.1.2.	Estructura del diseño AMI	24
2.2.	Medidores inteligentes	25
2.3.	Hogar inteligente	26
2.3.1.	Aplicaciones de la funcionalidad de un hogar inteligente	27
2.4.	Sistemas de gestión energética residencial	27
2.4.1.	Componente de comunicaciones	28
2.4.2.	Componente de la información	36
2.4.3.	Componente ontológico	39
2.5.	Topología básica de un sistema de gestión.	45
2.6.	La gestión energética residencial en Colombia.	46
2.6.1.	Ley 697 de 2001- Ley URE	46
2.6.2.	Decreto reglamentario 3683 de 2003	46
2.6.3.	Decreto 2501 de 2007	47
2.6.4.	Decreto 3450 de 2008	47
2.6.5.	Resolución 180919 de 2010	47
2.6.6.	Resolución 120 de 2007- Código de Medida	48
2.6.7.	Programa CONOCE	49
2.6.8.	Norma ISO 50001	50
2.7.	Caracterización de la carga de uso final en usuarios residenciales.	51
3.	Sistema de gestión energética residencial basado en sub-medición por circuito	53
3.1.	Topología básica del sistema de gestión energética residencial basado en sub-medición por circuito.	53
3.1.1.	Comunicaciones	54
3.1.2.	Central de manejo de datos	56
3.1.3.	Sub-medidor	56
3.1.4.	Hub central de control	57
3.1.5.	Síntesis del sistema de gestión basado en sub-medición por circuito-escenario uno	58
3.2.	Propuesta de gestión energética residencial, basada en sub-medición por circuito	59
3.2.1.	Distribución estratégica de circuitos ramales derivados del tablero de distribución.	60
3.2.2.	Arquitectura de la propuesta	62

3.2.3. Funcionalidad.....	64
3.2.4. Beneficios.....	66
4. Sistema de gestión energética residencial basado en gestión por aplicación.	67
4.1 Topología básica del sistema de gestión energética residencial, basado en gestión por aplicación.....	67
4.1.1. Comunicaciones.....	68
4.1.2. Hub central de control.....	69
4.1.3. Sistema de monitorización y control de iluminación.....	70
4.1.4. Actuadores o dispositivos de medida y control.....	70
4.1.5. Síntesis del sistema de gestión energética residencial basado en gestión por aplicación.	72
4.2. Selección de la propuesta de gestión energética residencial.....	73
4.2.1. Revisión de proveedores de tecnología.....	73
4.2.2. Depuración de la oferta comercial.....	74
4.2.3. Evaluación técnico-comercial de ofertas.....	76
4.2.4. Descripción de la oferta recomendada.....	84
5. Evaluación del sistema de gestión residencial.....	86
5.1. Perfil de carga semanal tradicional para un usuario estrato 5-6.....	86
5.1.1. Caracterización de los electrodomésticos y dispositivos eléctricos.....	86
5.1.2. Definición del usuario tipo y patrones de uso.....	87
5.1.3. Perfil de carga semanal.....	88
5.2. Definición de la funcionalidad del sistema.....	90
5.3. Propuesta de tarifa diferencial para el costo del kWh, determinada según hora de uso.....	92
5.4. Perfil de carga después de la incorporación del sistema HEMS.....	93
5.4.1. Funcionalidades y limitaciones.....	94
5.4.2. Ejecución del sistema de gestión.....	95
5.4.3. Perfil de carga afectado por el sistema de gestión.....	96
5.4.4. Contraste entre el perfil de carga antes y después de la implementación del HEMS.....	98
6. Conclusiones y recomendaciones.....	101
6.1. Conclusiones.....	101
6.2. Recomendaciones.....	103
6.3. Trabajos futuros.....	103
Anexos.....	104
A. Legislación URE e ISO 50001.....	104
B. Estimación de las características y hábitos de consumo de energía eléctrica de los usuarios residenciales.....	113
C. Revisión de la oferta inmobiliaria.....	123
D. Ilustración de la distribución estratégica de circuitos ramales.....	128
E. Cálculo de la demanda máxima por estrato socioeconómico.....	129
F. Perfiles de carga diarios y patrones de uso.....	135
Referencias bibliográficas.....	156

Lista de Figuras

Figura 1.1 Participación porcentual del consumo final de energía eléctrica del SIN por sectores 2009 [Autores].....	16
Figura 1.2 Proyección de la demanda sectorial de energía eléctrica del SIN [13].	17
Figura 1.3 Ciclo cerrado de control HEMS [14].....	19
Figura 2.1 Perspectiva global de un sistema de gestión energética residencial dentro del entorno de las redes inteligentes [Autores].....	22
Figura 2.2 AMI Diagrama de bloques [17].	23
Figura 2.3 Sistema de medición con medidores convencionales y sistema de medición con medidores inteligentes [21].....	26
Figura 2.4 Concepto de un hogar inteligente [22].	27
Figura 2.5 Clasificación de las diferentes clases de redes según dominio [22]	28
Figura 2.6 Red M2M residencial [24].....	30
Figura 2.7 Requerimientos HAN- Marcos referenciales [Autores]	35
Figura 2.8 Red HAN convergente- Gateway M2M [24].....	36
Figura 2.9. Interfaz usuario de ECOIS II [11] e interfaz software “PowerHouse”.	38
Figura 2.10 Tipos de Retroalimentación y efectos [12].	40
Figura 2.11. Marco de referencia ontológico [31].....	44
Figura 2.12 Topología del sistema de gestión energética residencial [Autores].	45
Figura 2.13 Metas finales y objetivos del PROURE [33].	46
Figura 2.14 Etiqueta energética colombiana, con su respectiva explicación [NTC 4366].....	50
Figura 2.15 ISO 50001 [40].....	51
Figura 2.16 Caracterización de la carga de uso final para usuarios residenciales [Autores].	52
Figura 3.1 Topología básica del sistema de gestión energética residencial-primer escenario. [Autores] .	54
Figura 3.2 Diagrama de Bloques Sub-medidor [9].....	57
Figura 3.3 Diagrama de bloques Hub de monitoreo y control [Autores]	58
Figura 3.4 Arquitectura propuesta para el primer escenario de gestión, Sub-medición por circuito.	63
Figura 4.1 Infraestructura básica del sistema de gestión energética residencial-segundo escenario [Autores].....	68
Figura 4.2 Diagrama de bloques del Hub- segundo escenario [Autores].....	69
Figura 4.3 Diagrama de bloques medidor inteligente [9].	71
Figura 4.4 Diagrama de bloques de una toma inteligente [9].	71
Figura 5.1 Perfil de carga semanal	89
Figura 5.2 Composición porcentual por aplicación del consumo de energía eléctrica semanal.	89
Figura 5.3 Tarifa diferencial TOU propuesta.....	93
Figura 5.4 Perfil de carga semanal después de la implementación del HEMS.....	97
Figura 5.5 Composición del porcentual del consumo por aplicación después de la implementación del HEMS.....	97
Figura 5.6 Contraste entre los dos perfiles semanales contrastado con el nivel de participación usuario.	98

Lista de Tablas

Tabla 1-1 Estadísticas del promedio mensual de consumo y de facturación residencial para el servicio de energía eléctrica a nivel nacional 2010 [SUI].	16
Tabla 1-2 Nivel de Control de dispositivos [15].	19
Tabla 2-1 Características y ejemplos de los diferentes tipos de redes según dominio.	29
Tabla 2-2 Comparación de tecnologías de comunicación M2M [24].	34
Tabla 2-3 Categorización de los cambios en comportamiento [4].	43
Tabla 2-4 Contraste desagregado del consumo de energía para un usuario tipo [11].	43
Tabla 2-5. Resumen de las funciones de los sub-marcos ontológicos.	45
Tabla 2-6 Subprogramas prioritarios para el sector residencial [37].	48
Tabla 2-7 Clasificación del Medidor de Energía Eléctrica por su Complejidad [NTC 5019].	49
Tabla 2-8 Composición porcentual del consumo promedio mensual de energía eléctrica por uso y estrato en la ciudad de Medellín, Colombia [41].	51
Tabla 3-1 Características Técnicas RS-485	55
Tabla 3-2 Funciones básicas por cada modulo del Hub de monitorización y control.	58
Tabla 3-3 Síntesis del sistema de gestión energética basado en sub-medición por circuito-escenario 1.	59
Tabla 3-4 Características arquitectónicas comunes para los estratos 3 y 4.	60
Tabla 3-5 Composición porcentual del consumo promedio mensual de energía eléctrica-estrato 3 y 4.	61
Tabla 3-6 Características de los dispositivos eléctricos para los estratos 3 y 4.	61
Tabla 3-7 Circuitos ramales derivados del tablero de distribución.	62
Tabla 3-8 Componentes de la arquitectura.	64
Tabla 3-9 Características Funcionales - Sub-medidor Inteligente.	65
Tabla 3-10 Características Funcionales - Tablero de Distribución	65
Tabla 3-11 Características Funcionales - Protección Termo-magnética	65
Tabla 3-12 Características Funcionales - HUB Control Central	65
Tabla 3-13 Características Funcionales - Interfaz, Portal Web	66
Tabla 3-14 Beneficios de la propuesta para usuarios y electrificadora.	66
Tabla 4-1 ZigBee-especificaciones técnicas [24].	69
Tabla 4-2 Funciones de los módulos de un toma inteligente [26].	72
Tabla 4-3 Sistema de gestión energética residencial basado en gestión por aplicación- segundo escenario	73
Tabla 4-4. Proveedores de Tecnología revisados en la selección de ofertas del escenario 2.	74
Tabla 4-5. Análisis primario de oferta HEMS según lista de proveedores.	75
Tabla 4-6. Evaluación de las comunicaciones para cada oferta tecnológica.	76
Tabla 4-7. Evaluación de características físicas y facilidades de instalación.	77
Tabla 4-8. Fotografías del diseño de dispositivos en cada una de las ofertas	78
Tabla 4-9. Evaluación funcional de ofertas -Tomas inteligentes.	79
Tabla 4-10. Evaluación funcional de ofertas – Control de Carga.	80
Tabla 4-11. Evaluación funcional de ofertas – Gateway.	80
Tabla 4-12. Evaluación funcional de ofertas – Termostato Inteligente.	81
Tabla 4-13. Evaluación funcional de ofertas – Panel de Visualización y Control e Interfaz Web.	82
Tabla 4-14. Evaluación funcional de ofertas – Hub Central de Control.	82
Tabla 4-15. Evaluación funcional de ofertas – Medidor Inteligente.	83
Tabla 4-16 Ponderación global de la funcionalidad de las ofertas comerciales	83
Tabla 4-17. Costo unitario oferta HAI	84
Tabla 4-18 resultados de la valoración técnico-comercial de ofertas.	84
Tabla 4-19 Oferta HEMS de General Electric.	85

Tabla 5-1 Caracterización de los electrodomésticos para el ejemplo de implementación.....	87
Tabla 5-2 Características personales de los habitantes.....	88
Tabla 5-3 Tiempo que los habitantes pasan en el apartamento.....	88
Tabla 5-4 Funciones en gestión del sistema <i>Brillion Technology</i> y herramientas de gestión	91
Tabla 5-5 Descripción del sistema <i>Brillion Technology</i> y los complementos.	92
Tabla 5-6 Ejemplo de Tarifa diferencial de kWh TOU, DTE Energy-Detroit, USA.....	92
Tabla 5-7 Propuesta de tarifa diferencial TOU para el entorno local.	93
Tabla 5-8 Capacidad de gestión del sistema por componente.....	94
Tabla 5-9 Nivel de retroalimentación de usuario que permite el sistema <i>Brillion Technology</i> más complementos.	95
Tabla 5-10 Metodología de ejecución de acciones de gestión sobre el usuario tipo.....	96
Tabla 5-11 Contraste entre los dos perfiles de carga semanales por aplicación	98
Tabla 5-12 Categorización de los ahorros energéticos.	99
Tabla 5-13 Consumo de potencia por periodos de tarifa diferencial.....	100
Tabla 5-14 Costo de la Energía Semanal-Tarifa Diferencial TOU.....	100

RESUMEN

TÍTULO: CARACTERIZACIÓN TECNOLÓGICA DE LA TOPOLOGÍA DE UN SISTEMA DE GESTIÓN ENERGÉTICA RESIDENCIAL¹

**AUTORES: WALTER GÓMEZ RODRÍGUEZ
GUSTAVO ADOLFO ARCHILA RAMÍREZ²**

PALABRAS CLAVES: Eficiencia energética, sistemas de gestión energética residenciales, monitorización, retroalimentación al consumo.

DESCRIPCIÓN:

El consumo de energía eléctrica en el sector residencial representaba el 41.2% del consumo total del Sistema Interconectado Nacional (SIN) al año 2009. Gestionar el consumo de energía en este sector es una necesidad recurrente para alcanzar la conservación energética que responda a las amenazas globales como el cambio climático. Mucha energía es perdida en la distribución de la energía eléctrica al igual que una proporción en servicios que los usuarios no usan realmente. Las empresas electrificadoras en todo el mundo están tratando de responder a muchos desafíos, incluyendo, la diversificación de la energía, respuesta a la demanda, tarifa diferencial y en la reducción del impacto ambiental del sector industrial en general. Es evidente que estos desafíos no pueden ser afrontados con las características de la red eléctrica actual. Un nuevo nivel de integración e inteligencia es requerido en el sistema de potencia, comenzando desde el dominio de los usuarios con la implementación de sistemas de gestión energética residenciales.

Proveer al usuario residencial con información útil sobre su consumo energético ha probado ser una herramienta efectiva y flexible para alcanzar ahorros energéticos en el sector residencial. Los autores han propuesto dos topologías de un sistema de gestión energético residencial adaptadas a las características del entorno local, y con potencial implementación en el 35.84% de los usuarios residenciales colombianos. Adicionalmente, este trabajo de grado recomienda de la oferta comercial actual, la opción más funcional para las necesidades de los usuarios locales. Finalmente, se propone un escenario de simulación donde se implementa el sistema de gestión energética residencial en un usuario tipo y se confrontan sus beneficios frente a la topología tradicional.

¹ Proyecto de grado.

² Facultad de Ingenierías Físico- Mecánicas. Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones. Grupo GISEL. Director: MsC. Manuel José Ortiz Rangel. Codirector: Dr. Gabriel Ordóñez Plata.

ABSTRAC

TITLE: TECHNOLOGICAL CHARACTERIZATION OF A HOME ENERGY MANAGEMENT SYSTEM TOPOLOGY³

**AUTHORS: WALTER GÓMEZ RODRÍGUEZ
GUSTAVO ADOLFO ARCHILA RAMÍREZ⁴**

KEYWORDS: Energy efficiency, home energy management systems, monitoring, consumption feedback.

DESCRIPTION:

The energy usage in the residential sector represents the 41.2% of the Colombian national interconnected system (SIN) in 2009. Managing the energy consumption in the residential sector has become a recurrent necessity towards, the energy conservation, the global warming and improving the energy security. Most energy is wasted in delivering electricity to the Grid, another significant proportion is wasted as well in services not actually used by the residents. The utility industry along the world is trying to address many challenges, including energy diversification, demand response, time of use pricing and the reduction of the industry's overall carbon footprint. It is evident that these challenges cannot be addressed with the existing electrical grid. A new level of intelligent integration is required in the power system starting from the bottom with the implementation of home energy management systems within the user's domain.

Providing the residents with information on their energy usage has become a feasible option to promote energy saving in the residential sector. The authors have proposed two topologies of an energy management system adapted to the local environment and with potential implementation in the 35.84% of the users in the Colombian residential sector. In addition, this work presents a review of the existing commercial market where a suitable commercial offer is recommended for the local users, confronting its benefits with the traditional topology in simulated scenery.

³ Word degree.

⁴ Physical Faculty of Mechanical Engineering. School of Electric, Electronics and Telecommunications. Group GISEL. Director: MsC. Manuel José Ortiz Rangel. Codirector: Dr. Gabriel Ordóñez Plata.

1 Introducción

Muchos de los problemas de preocupación global como el cambio climático, la creciente demanda de energía eléctrica y las fallas en el sistema de potencia, soportan la necesidad recurrente de mejorar el nivel de eficiencia y conservación energética. En la resolución de estos problemas han convergido numerosos estudios e iniciativas, como: la generación distribuida, respuesta a la demanda, tarifa diferencial, microrredes, sistemas de gestión energética residencial, entre otros de gran potencial. Es evidente que tales tecnologías no pueden ser soportadas con las características de las redes eléctricas actuales, por tanto las redes inteligentes (Smart Grids, SG) se imponen como la próxima generación de redes eléctricas. En esencia son la infraestructura necesaria para proveer la operación del sistema de potencia con visibilidad total y control profundo de todas las variables y servicios. Las redes inteligentes están llamadas a repotenciar los sistemas de gestión en cada transición de energía desde los generadores hasta los usuarios finales, trayendo al sistema de potencia en general un nuevo nivel de gestión energética [1] [2].

Numerosos estudios han sugerido el sector residencial como un sector con vasto potencial en la consecución de ahorro energético. En Colombia el sector residencial representaba a 2009, el sector de mayor demanda en el Sistema Interconectado Nacional (SIN) con el 41,2% de la demanda total [3]. Considerando la creciente demanda de electrodomésticos, dispositivos móviles de entretenimiento digital y comunicaciones, la necesidad de intervención es aún más inmediata. Actualmente, iniciativas como el uso de materiales de estado sólido más eficientes, programas de eficiencia energética como el sello Energy Star⁵, contribuyen de alguna forma a la conservación energética residencial. Sin embargo, el desarrollo e implementación de sistemas de gestión energética residencial que reduzcan significativamente el consumo y creen conciencia energética en los usuarios, es aún territorio poco explorado.

La creación y mejoramiento de tecnologías de monitorización, control y gestión energética en los hogares son necesarios para la construcción de conciencia energética en los usuarios. Éstas, unidas al mejoramiento de hardware y las redes inteligentes tienen el potencial para lograr un decremento del 50% del consumo energético residencial al año 2050 [4].

Un hogar inteligente es un edificio equipado con dispositivos capaces de comunicarse y operar conjunta e inteligentemente, en orden de alcanzar una serie de tareas que benefician a los usuarios en diferentes perspectivas [5], [6]. En la perspectiva de ahorro y gestión energética existen gran cantidad de propuestas de hardware y software que soportan la implementación de sistemas de gestión residenciales [7–10].

⁵ Sello de acreditación de bajo consumo energético para electrodomésticos.

Los sistemas de gestión energética residencial deben brindar a los usuarios monitorización continua, retroalimentación al consumo de energía eléctrica, capacidad de gestión sobre su consumo energético y control remoto y manual sobre sus dispositivos, inclusive se puede gestionar energía mediante la implantación de marcos de referencia que pueden aprender y reconocer el comportamiento habitual de los usuarios [6]. Diversos estudios han mostrado que sólo con brindar a los usuarios el consumo desagregado de la energía y proveer retroalimentación frente a su consumo energético se logra reducir el consumo energético hasta en un 18% [4], [11] y a su vez han aumentado el nivel de conciencia entre los usuarios y han provocado nuevos patrones de comportamiento, entendidos en la perspectiva del uso racional y eficiente de la energía [12]. En este contexto, el proyecto se enmarca en las soluciones de gestión energética residencial que brindan al usuario monitorización desagregada y continua de su energía eléctrica, retroalimentación al consumo y capacidad de gestión de acuerdo a sus preferencias y las alternativas del mercado energético local.

1.1. Energía eléctrica en el sector residencial colombiano

La demanda de energía eléctrica está pasando por un periodo de continuo crecimiento, para Colombia en el año 2009 la demanda del Sistema Interconectado Nacional (SIN) ascendió a 54.679 GWh (Gigavatios-hora). Al igual que el calentamiento global, éste es un fenómeno mundial que debe ser abordado y que tiene relación directa con la responsabilidad ambiental. Por lo que alternativas de fuentes de generación renovables, sistemas gestión energética y una nueva red eléctrica inteligente, desplazan a la creación de mega-plantas de generación y otras soluciones que no son ambientalmente amigables.

Según información del SIN al año 2009, el sector residencial constituía el 41,2% de la demanda de energía eléctrica, seguido del sector industrial con el 30,9% y el sector terciario (comercio y servicios) con el 25,0%, el 2,9% restante corresponde a alumbrado público, transporte y otros (ver Figura 1.1) [13]. Sin embargo y aunque siendo el sector residencial el de mayor demanda del SIN, las políticas de gestión y uso racional y eficiente de la energía no han tenido el impacto deseado en la consecución del ahorro energético y en la creación de conciencia energética.

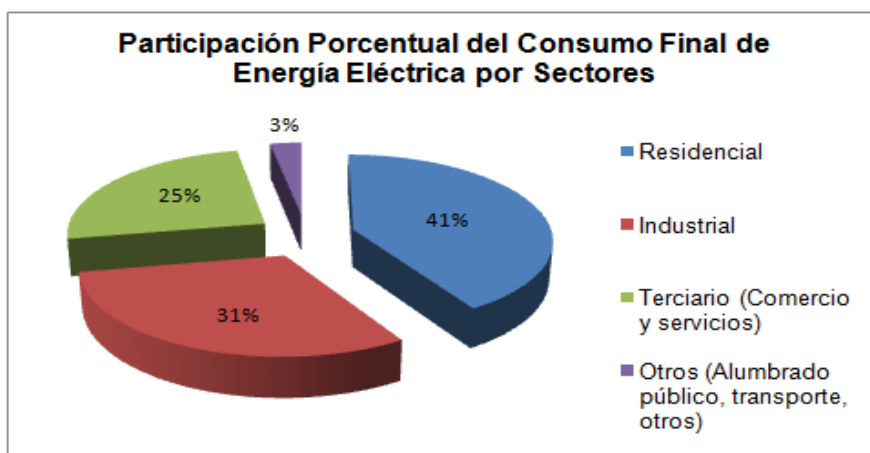


Figura 1.1 Participación porcentual del consumo final de energía eléctrica del SIN por sectores 2009 [Autores].

1.1.1. Conformación de los usuarios finales de energía eléctrica en Colombia

De acuerdo con el Sistema Único de Información (SUI) de la Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios, el Sistema Interconectado Nacional (SIN) contaba a finales del año 2010 con 20,795 millones de usuarios, de los cuales el 91,3% correspondían a residenciales y el restante 8,7% a usuarios no residenciales, dentro de los que se incluyen industriales, comerciales, oficiales y otros. La Tabla 1-1 presenta el promedio mensual de consumo y de facturación del servicio de energía eléctrica por estrato a nivel nacional en el año 2010.

ESTADÍSTICA / ESTRATO	ESTRATO 1	ESTRATO 2	ESTRATO 3	ESTRATO 4	ESTRATO 5	ESTRATO 6
Número de suscriptores	4.733.121	7.448.215	4.505.678	1.356.928	590.813	351.129
Promedio mensual de consumo [kWh/mes/usuario]	153,42	148,70	170,12	201,88	250,12	384,08
Promedio mensual de facturación por consumo [COP \$/mes/usuario]	\$ 51.340	\$ 50.153	\$ 56.545	\$ 65.983	\$ 79.813	\$ 120.313

Tabla 1-1 Estadísticas del promedio mensual de consumo y de facturación residencial para el servicio de energía eléctrica a nivel nacional 2010 [SUI].

1.1.2. Proyección de la demanda de energía eléctrica en Colombia

La proyección de la demanda de energía eléctrica a nivel sectorial entre los años 2009 y 2029 mostrada en la Figura 1.2 justifica la inmediata necesidad de implementación de sistemas de gestión energética residencial que complementen las actuales políticas URE en un contexto de conciencia y eficiencia energética real, con la infraestructura necesaria para respaldar diferentes tecnologías, desde la retroalimentación al usuario hasta la integración de fuentes de energía renovables.

En esta proyección se estima que el sector residencial tenga un crecimiento medio anual del 2,2%, frente a los sectores terciario e industrial con crecimientos de 5,6% y 4,0% respectivamente. Sin embargo, se mantiene como el sector de mayor consumo de energía eléctrica en el país con una demanda aproximada de 40.000 GWh/año a 2029 [13].

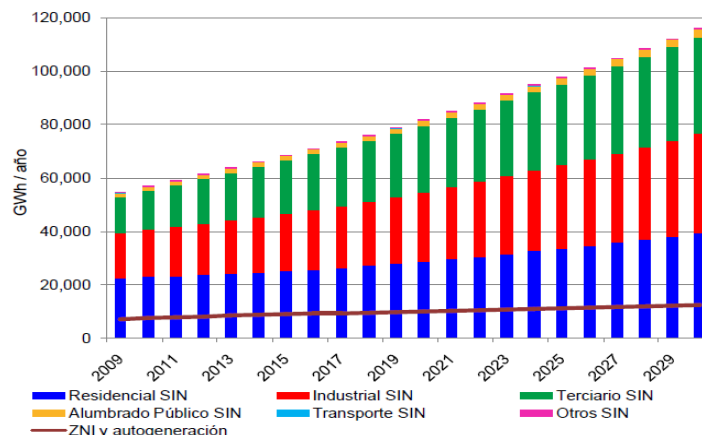


Figura 1.2 Proyección de la demanda sectorial de energía eléctrica del SIN [13].

1.2. Gestión de energía eléctrica residencial

La gestión energética residencial parte de la disfuncionalidad del sistema de medición actual, ya que en éste sólo importa la medición total del consumo energético por unidad residencial, y aunque en términos de facturación es funcional para las empresas electrificadoras⁶, para el usuario no tiene la funcionalidad requerida. Willet Kempton y Laura Montgomery (1982) ilustraban la disfuncionalidad de la información brindada al usuario en la siguiente paradoja:

“Imagine entrar a un supermercado sin precios individuales en los productos que oferta, donde la única factura que le entregan al cliente es el total de la cuenta. En esta tienda el comprador tendría que estimar su presupuesto y su consumo basado en patrones imprecisos como el peso de sus ítems o comparando su actual compra con el promedio de compras anteriores”.

La invisibilidad del consumo de energía impide que los usuarios residenciales sean conscientes de su consumo, e igualmente insensatos de cuanto consume un usuario de sus mismas características, y de cuanto debería ser su consumo para ser ambientalmente responsable, en definitiva el consumo de energía eléctrica residencial necesita un nuevo marco de referencia donde tanto los reguladores como los usuarios puedan determinar cuando sus consumos son apropiados o excesivos, o cuando éstos necesitan intervención.

1.2.1. Sistemas de gestión energética residenciales

Los sistemas de gestión energética residencial (*Home Energy Management System, HEMS*) son integradores de subsistemas que convergen en la unidad residencial; según el modelo conceptual de referencia (*National Institute of Standards and Technology, NIST, USA*) un HEMS está compuesto por actuadores y aplicaciones [14].

Actuadores: Los actuadores incluyen dispositivos, sistemas o programas que obtienen e intercambian información para ejecutar órdenes. Medidores inteligentes, generadores de

⁶ En este documento las llamadas empresas electrificadoras refieren a empresas suministradoras de energía eléctrica.

energía renovables, electrodomésticos inteligentes y tomas inteligentes son ejemplos de actuadores.

Aplicaciones: Son tareas ejecutadas por uno o más actuadores en servicios como: seguridad, monitorización de condiciones médicas, sistemas de gestión, etc. Este proyecto se enfoca en esta última, gestión energética residencial; con beneficios para el usuario y para las empresas electrificadoras.

a. Características HEMS en el contexto-usuario

Para soportar las ventajas de las redes inteligentes, los sistemas de gestión requieren las siguientes características básicas [14]:

- 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, a nivel de aplicación.
- Monitorización de variables ambientales, tales como temperatura y humedad que pueden ser utilizadas por dispositivos de control inteligente.
- Soporte al control remoto y manual de actuadores.
- Soporte a la integración de fuentes de generación renovables, como energía solar y eólica.
- Soporte a la interacción con otros dominios como el sistema de distribución para la implementación de programas de energía inteligente (*Smart Energy, SE*) como: la respuesta a la demanda y la tarifa diferencial.
- Operación de actuadores a bajo costo y bajo consumo energético.

b. Características HEMS contexto-control

En un usuario residencial, la energía eléctrica está distribuida en una estructura tipo árbol donde el medidor inteligente sería la raíz y las tomas inteligentes, luminarias y electrodomésticos serían las ramas. El flujo de energía puede ser sentido, monitorizado y controlado fácilmente por tomas inteligentes, sensores de energía terminal, o los mismos electrodomésticos inteligentes.

Desde la perspectiva de control y procesos, el control del HEMS puede plantearse en ciclo cerrado como muestra la Figura 1.3, donde existen tres niveles de control de dispositivos ubicados a través del ciclo cerrado y resumidos en la Tabla 1-2.

Nivel de Control	Descripción	Ejemplos
Centralizado	Un núcleo o Hub ⁷ central de control se comunica con una serie de dispositivos en el hogar y permite al usuario el manejo desde la interfaz usuario.	Sistemas de automatización residencial, sistemas de monitorización y seguridad, sistemas de control de iluminación.

⁷Hub es un término utilizado en redes de comunicación, se refiere a eje central

A nivel del dispositivo	Control independiente, el usuario puede manejar sólo un dispositivo o función a la vez	Control con dimers o control remoto de luces, termostatos, regletas inteligentes.
Embebido en tarjeta	Control integrado en la funcionalidad del dispositivo	Electrodomésticos inteligentes, luminaria LED inteligente.

Tabla 1-2 Nivel de Control de dispositivos [15].

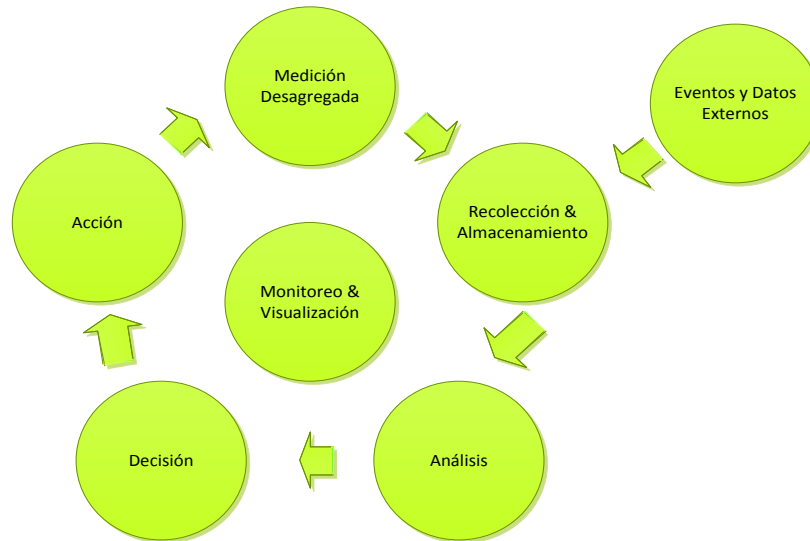


Figura 1.3 Ciclo cerrado de control HEMS [14]

Medición desagregada: Medidas del consumo de energía eléctrica por terminal, en este bloque se incluye el uso de tomas inteligentes y/o electrodomésticos inteligentes con capacidad de medición y comunicación. En este mismo escenario se integra el sensado de variables ambientales si es el caso.

Recolección y almacenamiento: Todas las mediciones extraídas por los actuadores son almacenadas para análisis posterior, usualmente este bloque recibe medidas y datos de eventos externos.

Análisis: Manejo estadístico de los datos almacenados con el fin de tener históricos y establecer preferencias de los usuarios, como a su vez una panorámica actualizada del sistema.

Decisión: Este proceso está basado en el resultado de los análisis, los algoritmos de decisión inteligente operan según el nivel de integración, para interés este componente respondería a: preferencias pre-estipuladas por el usuario, señales de alarma de la empresa electrificadora y eliminación de consumo stand-by.

Acción: Señales de control basadas en la decisión son enviadas a los actuadores a través de la red de comunicación casera (*Home Area Network, HAN*).

Aparte de los procesos involucrados en el ciclo cerrado, dos procesos adicionales son importantes en el control de los sistemas.

Monitorización y visualización: Este es un bloque muy importante ya que provee una interfaz usuario amigable que permite al usuario conocer y controlar sus consumos de acuerdo a sus preferencias.

Eventos y datos externos: Este bloque establece la comunicación bidireccional (empresa electrificadora –usuario), dando soporte a aplicaciones de tarifa diferencial y respuesta a la demanda.

1.3. Finalidad y objetivos

Este trabajo de grado se enfoca en la caracterización de los componentes hardware y software necesarios para la implementación de un sistema de gestión residencial. En general, se analiza la topología básica de un sistema de gestión residencial y las funcionalidades requeridas para proveer al usuario con la capacidad de manejo de su consumo de energía eléctrica. Se parte del hecho de que en la topología de instalaciones eléctricas residenciales tradicionales la gestión energética es prácticamente nula, además en que el sistema de facturación actual sólo retroalimenta pobremente a los usuarios en la factura de consumo mensual o bimensual.

Por lo anterior en el trabajo de grado se proponen las siguientes tareas:

- Incorporar la base de conocimiento sobre los componentes tecnológicos necesarios para la implantación de un sistema de gestión energético residencial.
- Revisar el marco legal, normativo, reglamentario y técnico en lo referente a la eficiencia energética para el sector residencial, con el fin de analizar el soporte reglamentario actual a los sistemas de gestión energética residencial.
- Presentar la topología básica del diseño de un sistema de gestión energética residencial acorde a las necesidades de los usuarios locales.
- De la oferta comercial actual en sistemas de manejo energético y retroalimentación al usuario, recomendar la solución que mejor soporte la gestión energética residencial, confrontando sus beneficios frente al panorama tradicional.

1.4. Estructura del proyecto

El desarrollo del documento se divide en seis capítulos como se describe brevemente a continuación. La introducción con los aspectos generales a considerar en el trabajo de grado, corresponde al capítulo uno; por otra parte, el capítulo dos expone la topología básica de un sistema de gestión residencial con la descripción de las características funcionales requeridas por la topología para que el usuario local tenga capacidad de gestión energética. En el capítulo tres se propone una topología para un primer nivel de gestión energética residencial basada en la sub-medición por circuito ramal y posteriormente en el capítulo cuatro se propone una topología para un segundo nivel de gestión energética residencial basada en gestión por aplicación, y de la oferta comercial actual se selecciona el sistema de gestión que mejor satisfaga las necesidades de los usuarios locales. La propuesta de un posible escenario de implementación, a manera de ejemplo y con el fin de probar la capacidad en gestión del

sistema seleccionado, es presentada en el capítulo cinco. Y finalmente en el capítulo seis se finaliza el documento con las principales conclusiones y recomendaciones del trabajo de grado.

Adicionalmente, en los anexos A, B, C, D, E y F se detallan algunos de los aspectos que se requirieron para estructurar el documento que sintetiza el trabajo de grado realizado.

2. Sistema de gestión energética residencial.

Los sistemas de gestión energética residencial se entienden dentro de un sistema complejo de convergencia de tecnologías que son las redes inteligentes. En las redes inteligentes, las tecnologías de la información y las tecnologías de comunicaciones interactúan profundamente para permitir la monitorización y control avanzado e inteligente a través del sistema de potencia. El sistema de distribución por sus características tiene el mayor número de interacciones y por tanto el mayor número de fallas, lo que lo convierte en el punto de partida para la renovación global de la red [2], [16]. Los sistemas de gestión energética residencial (HEMS) son entonces la primera capa de gestión energética al final de la cadena de las redes inteligentes, conservando las características propias de una red inteligente. Los HEMS combinan tecnologías de comunicaciones y de información, al igual que la interacción con dominios de las empresas electrificadoras y el operador de red. En la Figura 2.1 se presenta la perspectiva global de un sistema de gestión energética residencial dentro del entorno de las redes inteligentes.

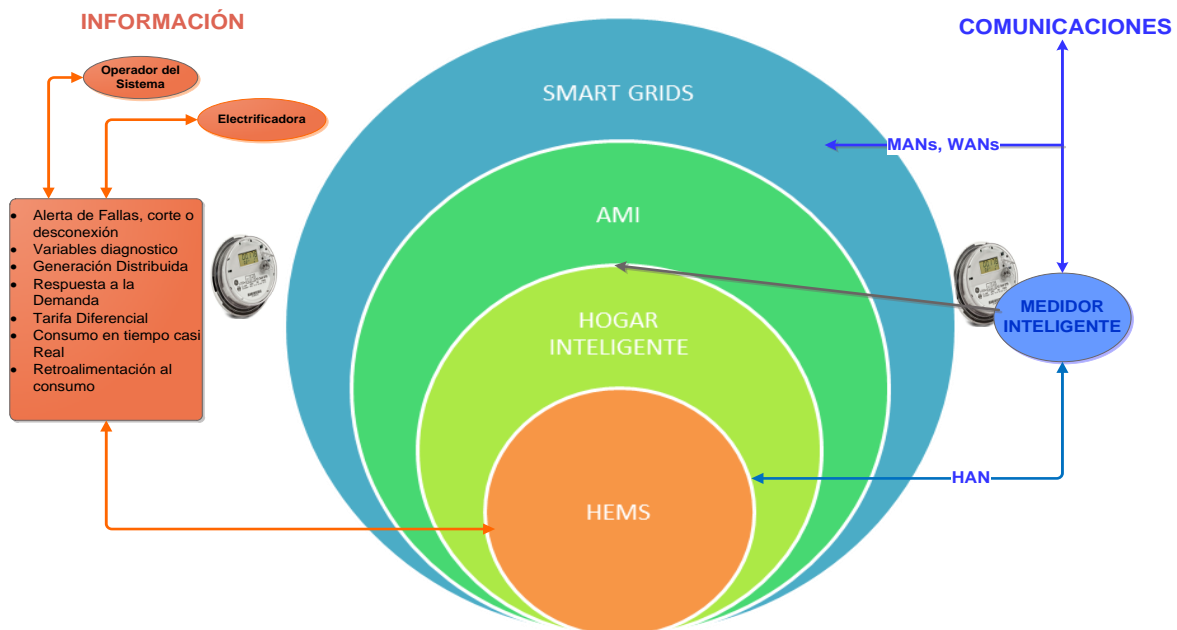


Figura 2.1 Perspectiva global de un sistema de gestión energética residencial dentro del entorno de las redes inteligentes [Autores].

En este capítulo se describen cada una de las tecnologías que soportan los sistemas de gestión residencial, partiendo de lo general a lo particular tal cual lo expone la Figura 2.1,

terminando en la definición de la funcionalidad y topología básica de un sistema de gestión adecuado para los usuarios residenciales de Bucaramanga.

2.1. Infraestructura de medición de avanzada

La infraestructura de medición de avanzada (*Advanced Metering Infrastructure, AMI*), fue definida por la comisión federal de regulación energética (*Federal Energy Regulatory Commission, FERC, 2008*) como “Un sistema que recoge información del consumo (y otros posibles parámetros) de los consumidores 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”. Esta definición implica la introducción de una nueva tecnología al sistema de potencia en todos los niveles con requerimientos específicos como: dispositivos digitales de recolección de datos equipados con comunicación bidireccional, red de comunicación, manejo y almacenamiento de datos como se muestra en la Figura 2.2.

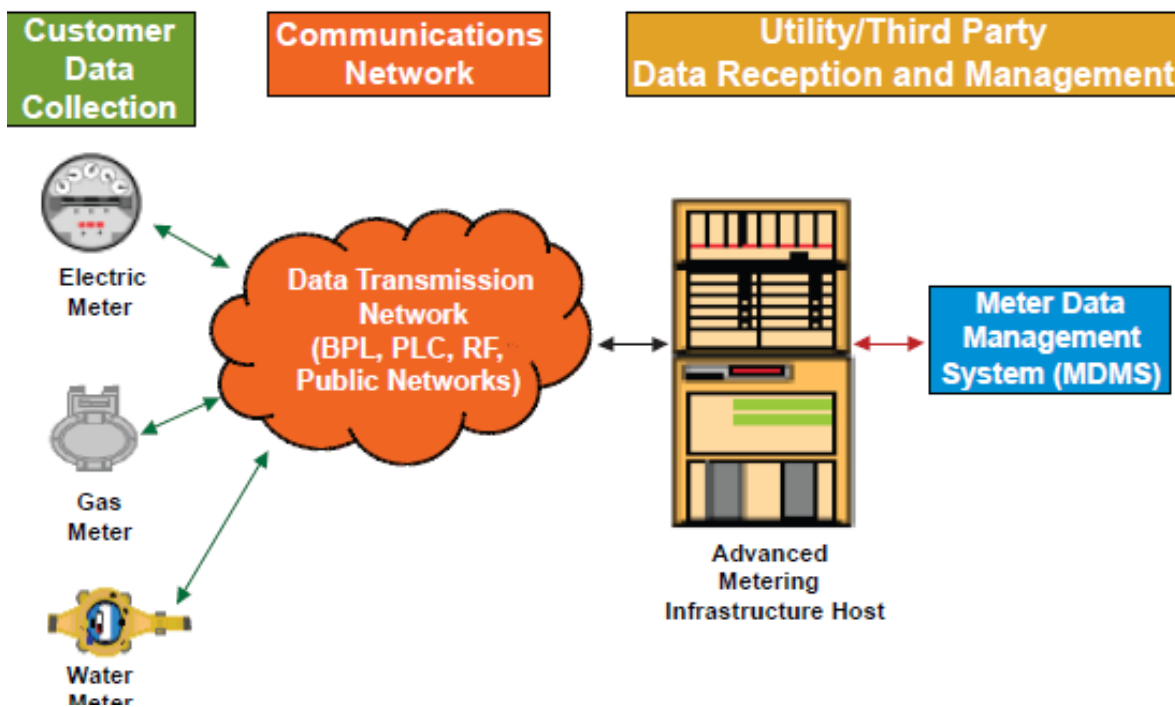


Figura 2.2 AMI Diagrama de bloques [17].

2.1.1. Requerimientos de la infraestructura de medición avanzada

Una infraestructura de medición avanzada básicamente requiere de la integración de los siguientes sistemas [18]:

- 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, respuesta a eventos, control de carga, seguimiento de la demanda, respuesta a 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 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.

2.1.2. Estructura del diseño AMI

La infraestructura de medición Avanzada (AMI) está dividida en cuatro niveles que se describen a continuación [19].

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 de la estación principal con los medidores inteligentes. En este nivel se proveen los canales de comunicación que hacen posible la comunicación bidireccional entre las empresas electrificadoras 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 eléctrica, el corte y la reconexión de cargas, la monitorización del sistema y la transmisión constante de estos parámetros. Sin embargo los terminales portátiles son importantes en el sensado y monitorización del sistema de potencia, y también en la sincronización que permite el acceso a la generación distribuida.

El nivel 4 es del dominio del cliente, y 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 electrificadora. 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 electrificadoras en aplicaciones como: respuesta a 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.

2.2. Medidores inteligentes

Un medidor inteligente es un dispositivo de medición de avanzada que permite medir el consumo de energía y otra información complementaria, tanto de consumo como de variables del sistema de potencia y calidad de la energía. Los datos recolectados por un medidor inteligente son básicamente una combinación de parámetros de diagnóstico del sistema y datos de consumo de energía, contrastados con datos de fecha y hora de recolección y referenciados con una etiqueta única de identificación del medidor. Los medidores inteligentes pueden leer información en tiempo real y comunicarla de forma segura [20].

Una gran ventaja de los medidores inteligentes es la comunicación bidireccional, la cual posibilita la retroalimentación para el usuario y la empresa electrificadora, permitiendo la recolección y comunicación de información del sistema de distribución y de las preferencias del usuario.

Los medidores inteligentes se entienden en un escenario conjunto de infraestructura de comunicación y dispositivos de control. Esto permite la siguiente serie de funciones complementarias a la medición de consumo de energía [21]:

- La ejecución de comandos remotos y locales.
- La integración de una señal de tarifa diferencial de precio de la energía al funcionamiento de electrodomésticos según premisas del usuario.
- Monitorización de parámetros del sistema de potencia.
- En un escenario de generación distribuida el medidor inteligente puede ser programado para que sólo la energía consumida de la electrificadora sea facturada.
- El corte y la reconexión remota del servicio de energía eléctrica para cualquier cliente.

En la Figura 2.3, se contrasta el sistema de medición tradicional con un sistema con medidores inteligentes.

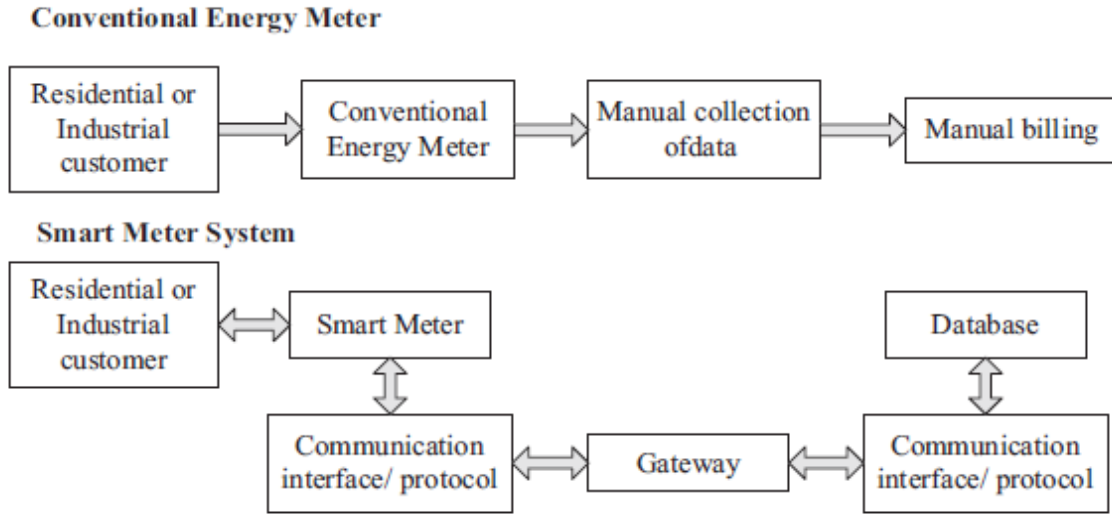


Figura 2.3 Sistema de medición con medidores convencionales y sistema de medición con medidores inteligentes [21].

2.3. Hogar inteligente

Un hogar inteligente 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. Un hogar inteligente en un principio fue concebido como una tecnología para controlar sistemas ambientales como iluminación y temperatura. Actualmente esta tecnología incluye cada dispositivo eléctrico de la casa no sólo para apagar o encender dispositivos sino también permite la monitorización de las actividades al interior de la casa, posibilitando una operación independiente según costumbres y preferencias del usuario previamente censadas. Este nivel de inteligencia, flexibilidad y funcionalidad tienen una vasta variedad de aplicaciones [5], [6].

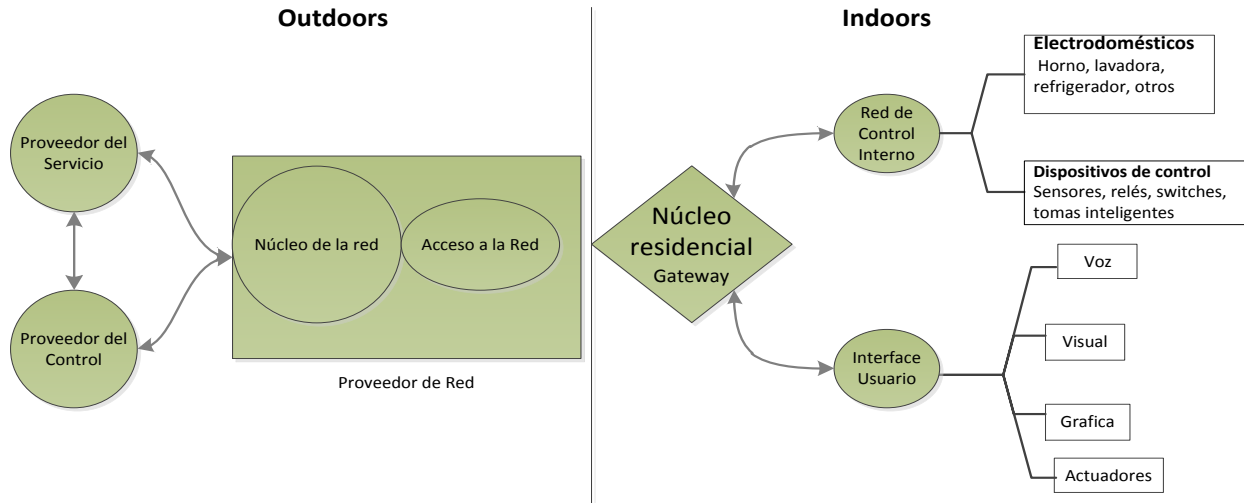


Figura 2.4 Concepto de un hogar inteligente [22].

2.3.1. Aplicaciones de la funcionalidad de un hogar inteligente

La infraestructura de comunicación y control de un hogar inteligente mostrada en la Figura 2.4 permite gran variedad de aplicaciones de diferentes requerimientos y beneficios. A continuación se muestran tres categorías de aplicaciones [5].

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. Gestión energética

Uso eficiente en el control de cargas en climatización de edificaciones (Heat Ventilation and Air Condiotinning, HVAC), monitorización y control del consumo desagregado de energía eléctrica e integración de servicios complementarios con la empresa prestadora del servicio.

c. 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.

2.4. Sistemas de gestión energética residenciales

Como se introdujo en el Capítulo uno, los sistemas de gestión energética residencial (HEMS) son integradores de varias tecnologías, luego el complemento de la definición de éstos se afrontará desde la definición de los tres componentes que convergen en su funcionamiento.

Los HEMS integran tres componentes funcionales: las comunicaciones, la información y el componente ontológico, los cuales se desarrollan a continuación en el orden respectivo.

2.4.1. Componente de comunicaciones

Las comunicaciones son base fundamental de un hogar inteligente equipado con un sistema de gestión energética. Las redes de comunicación pueden variar dependiendo del propósito. Por ejemplo, un hogar inteligente que integre dispositivos inalámbricos de entretenimiento de audio y/o video demandará una red de alta velocidad debido al formato de alta calidad de los datos transferidos. En el contexto de gestión energética residencial, la velocidad de transferencia de la red de comunicación no es un hecho crítico. Las redes de comunicaciones deben satisfacer dos necesidades: la primera es lograr comunicación de los dispositivos dentro de la casa y la segunda es conectar el hogar inteligente con la red inteligente del sistema de distribución [23].

Las diferentes clases de redes se definen según sus dominios que se extienden desde WANs (Wide area networks) hasta las BANs (body area networks) como se muestra en la Figura 2.5. En la Tabla 2-1 se describen las características de los diferentes tipos de redes de comunicación, así como los protocolos comerciales más utilizados actualmente.

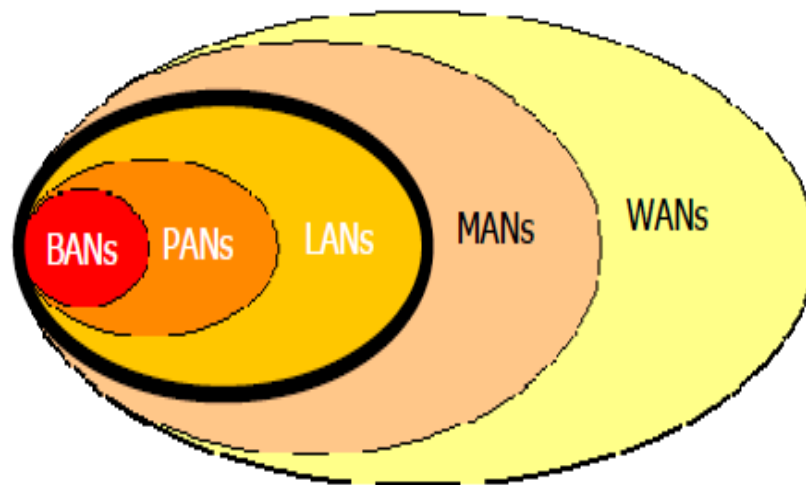


Figura 2.5 Clasificación de las diferentes clases de redes según dominio [22]

Tipo de Red	Características	Ejemplos
Wide Area Networks (WANs)	Generalmente consisten en satélites o antenas instaladas en torres o edificios.	UMTS, EDGE, GPRS, GPS
Metropolitan Area Networks (MANs)	Pueden brindar cobertura en distancias considerables en una ciudad como en un distrito (20 km)	WIMAX

Local Area Networks (LANs)	Provee comunicación para necesidades individuales como una empresa, una institución educativa etc. Usualmente el propio usuario da manejo a la red	WIFI, HyperLan, Ethernet
Personal Area networks (PANs)	Soporta necesidades para objetos cercanos tales como dispositivos móviles.	Bluetooth, RFID, ZigBee, UWB, CEBus, Convergence, emNET, HAVi, Homeplug and UPnP serial link
Body Area Networks (BANs)	Al igual que las PANs están diseñadas para objetos cercanos, sólo que están limitadas a una menor escala en distancias	BodyLAN

Tabla 2-1 Características y ejemplos de los diferentes tipos de redes según dominio.

Las dimensiones de los edificios residenciales hacen de las LANs y las PANs los protocolos de comunicación ideales para sistemas de gestión residenciales.

a. Comunicación maquina- maquina (M2M).

La comunicación M2M permite soportar el flujo de datos entre maquinas, e implícitamente maquina-usuario. Las comunicaciones M2M son ampliamente usadas en la integración de dispositivos multimedia y entretenimiento mediante redes inalámbricas, algo que actualmente fascina a los usuarios. Sin embargo, una nueva gama de dispositivos de bajo consumo energético puede llevar la integración de componentes en el hogar a un nivel muy superior de conectividad. Los dispositivos M2M se caracterizan por su bajo consumo energético y por la poca intervención humana necesaria para que la red opere, en la mayoría de los casos los dispositivos se comunican autónomamente con otros dispositivos y con el sistema de control central.

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

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

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

b. 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.

Siendo característico en las redes M2M el bajo consumo de potencia y la poca intervención humana para su aplicación, la tecnología es potencialmente aplicable a los sistemas de gestión energética residenciales. La Figura 2.6 muestra una red M2M, en la cual se integran tres de los protocolos de mayor impacto en aplicaciones residenciales (ZigBee, Bluetooth y Wi-Fi). La arquitectura presentada implicaría la capacidad de manejo de diversas redes, cada una con requerimientos específicos y aplicaciones diferentes.

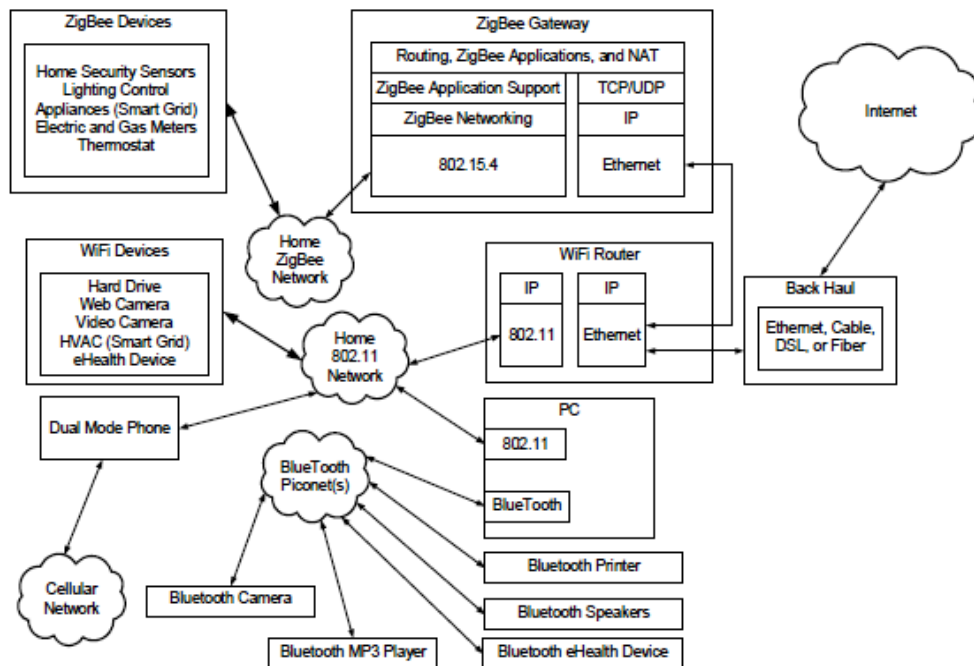


Figura 2.6 Red M2M residencial [24]

Para la configuración de la red mostrada en la Figura 2.6, una Gateway requeriría desempeños más complejos que las tareas básicas de dirigir paquetes de una fuente a un destino que normalmente desempeñan los enrutadores tradicionales. La traducción de protocolos (*Network Address Translation, NAT*) sería necesaria para facilitar la comunicación entre redes locales, pero a su vez se debería afrontar la complicación que acarrea el uso de NAT en la Gateway cuando hay comunicación "peer to peer" para dispositivos con IP fija. Otro factor importante en los requerimientos de la Gateway es el manejo eficiente de los dispositivos M2M, los cuales están equipados con recursos mínimos que no responden a sobrecargas, luego la Gateway debe ejecutar una mayor cantidad de procesos para no saturar los dispositivos M2M, y de igual forma los comandos se deben ejecutar de tal manera que los dispositivos M2M tengan ciclos eficientes de trabajo [11].

c. 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 cual fue diseñado. A continuación se presentan los protocolos inalámbricos mejor posicionados en la actualidad para integración de componentes en los hogares inteligentes.

- **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. El estándar IEEE 802.15.4 establece una capa física y una MAC (*Media Access Control address*) 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”. Estas características permiten la creación de rutas eficientes, al igual que la flexibilidad para que sea usado en diferentes tipos de topologías.

ZigBee se ha convertido en el protocolo por excelencia en aplicaciones de capa física y MAC. Este protocolo se ha empoderado y desarrollado por un consorcio de más de 300 compañías, llamado “The ZigBee Alliance”. ZigBee fue diseñado específicamente para aplicaciones de baja potencia y dispositivos inalámbricos de larga vida. La batería de dispositivos ZigBee puede extenderse por años mediante el uso de ciclos largos de trabajo y “multihop routing”. Otra característica especial en el protocolo ZigBee es la adaptabilidad de la red que brinda la autoconfiguración, además el estándar IEEE 802.15.4 es flexible y permite establecer diferentes topologías de redes como: estrella, árbol, racimo o auto-curables “self healing” en malla [24].

- ✓ Tipos de elementos en una red ZigBee [25]

Coordinador: Este dispositivo controla la red; el coordinador guarda la información de la red lo cual incluye actuar como un centro seguridad y almacenador de las claves de seguridad.

Enrutadores: Son dispositivos que extienden la cobertura promedio de la red por encima de los obstáculos arquitectónicos que presente la edificación y provee rutas de respaldo en caso de congestión en la red o falla en algún dispositivo de la misma. Los enrutadores pueden conectarse con el coordinador o con otros enrutadores, y a su vez soportar dispositivos menores.

Dispositivo terminal: Estos dispositivos pueden transmitir o recibir mensajes pero no pueden desempeñar ninguna tarea de enrutador, deben ser conectados ya sea a un enrutador o al coordinador y no soportan dispositivos menores.

Tipos de transmisión de datos: Existen tres tipos de transmisión de datos: el primero es cuando el dato es transmitido hacia el coordinador; el segundo es cuando la transmisión de datos es

desde el coordinador hacia los dispositivos y la tercera opción de transmisión de datos ocurre entre dispositivos pares.

✓ Actualidad del protocolo ZigBee.

Actualmente ZigBee tiene algunas complicaciones al establecer paridad con Internet. El direccionamiento de ZigBee utiliza IEEE 802.15.4, mientras que en Internet todo está asignado en 64 bit y emparejado a 16 bit cuando se une un nuevo dispositivo a la red. Para aplicaciones que involucren PC y una red ZigBee, una aplicación NAT sería necesaria en la Gateway.

La alianza ZigBee está desarrollando la nueva generación del protocolo con un mayor enfoque a hogares inteligentes, medición de avanzada, respuesta a la demanda, control y monitorización energética. Este nuevo protocolo basado en IEEE 802.15.4 establecería el direccionamiento de dispositivos mediante IPv6 (*Internet Protocol Version 6*) [24].

- **Bluetooth (IEEE 802.15.1)**

Es una tecnología muy conocida en el uso de dispositivos móviles como celulares, cámaras, memorias, impresoras, etc. Soportado por la alianza (*Special Interest Group, SIG*) que fue la encargada de desarrollar el protocolo y posicionarlo; sin duda es un protocolo popular para conexiones inalámbricas cortas como datos y voz. El protocolo Bluetooth permite direccionamiento IP, sin embargo su diseño no fue concebido para aplicaciones de baja potencia y en comparación con el IEEE 802.15.4 no está muy bien posicionado para el soporte de HEMS.

El estándar Bluetooth es utilizado en aplicaciones que demandan una mayor tasa de transmisión de datos, y en la mayoría de los casos sólo establecen comunicación dos o tres dispositivos en transmisión de datos o voz y sin mayores exigencias de bajo consumo energético. 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. Sin embargo, la escalabilidad no es comparable con el presentado por las mallas “self-healing” utilizadas en la mayoría de las redes del protocolo IEEE 802.15.4.

Otro aspecto importante de las redes Bluetooth es la necesidad de sincronización periódica. Un dispositivo Bluetooth demora tres segundos en pasar de reposo a sincronismo. En contraste con el IEEE 802.15.4 en donde un dispositivo despierta en milisegundos y mediante el uso de CSMA/CA (Detección de Portadora con Acceso Múltiple y Detección de Colisiones) no necesita programación de eventos para comunicarse, ni para mantener la sincronización [24], [26], [27].

✓ Actualidad del protocolo Bluetooth

La alianza (SIG) desarrolladora del protocolo Bluetooth está trabajando para soportar aplicaciones de baja potencia. Hay una solución en desarrollo llamada “Bluetooth Low Energy Standar” que compite más de cerca con el protocolo IEEE 802.15.4 pero que aún no está en el mercado. En la propuesta se definen dos tipos de dispositivos: dispositivos “Single Mode” y

dispositivos “Dual Mode”. Los dispositivos de un sólo modo son utilizados en monitores y sensores; mientras que aquellos con características más complejas como teléfonos inteligentes, tabletas, computadoras son de modo dual. Los dispositivos simples operaran en el nuevo protocolo de bajo consumo energético y los dispositivos terminales superiores soportan los dos protocolos; de esta forma los dispositivos “Dual Mode” permitirían la comunicación permanente con los dispositivos menores, y potenciando la red con el aprovechamiento de la infraestructura ofrecida por los dispositivos duales y el vínculo a redes globales [24].

- **Wi-Fi (IEEE 802.11)**

Es el protocolo con mayor penetración en el mercado, está posicionado como el protocolo de mayor aceptación para comunicación inalámbrica en los hogares. Sin embargo, desde el punto de vista de soluciones de gestión energética residenciales, Wi-Fi es el protocolo de mayor consumo de potencia; fue diseñado para intercambiar datos sobre una red computacional sin usar cables, incluyendo grandes velocidades de navegación en Internet. Tal poder es usado para un sin número de aplicaciones (PC, consola de videojuegos, tabletas, teléfonos inteligentes, dispositivos digitales de audio y video) donde la premisa no es el bajo consumo energético, si no la estabilidad, solidez, seguridad y confiabilidad de la red. Claramente, Wi-Fi es un protocolo fuerte en estos aspectos y otros más como el rango de cobertura de 20 [m] en interiores e inclusive mayor en exteriores. Los llamados (Hotspots) de acceso o puntos calientes de cobertura pueden comprimirse a un pequeño salón con muros que bloqueen las ondas de radio o ampliarse mediante la sobre posición de múltiples puntos de acceso [8], [24].

Es notorio el consumo de energía de las redes Wi-Fi frente a cualquiera de las soluciones IEEE 802.15.4, pero no se puede pasar por alto la enorme infraestructura que ofrecen. Algunos dispositivos Wi-Fi son denominados de baja potencia y reducen la tasa de transferencia de datos, el tiempo de recepción permitido y cuando la comunicación no es necesaria, el dispositivo pasa a modo stand-by, donde sólo operan los relojes de baja frecuencia con el único propósito de mantener programados los tiempos de sincronización. A pesar de esto, el consumo potencia no es tan bajo como las soluciones IEEE 802.15.4

d. Contraste entre los diferentes protocolos M2M.

Un hogar integra una gran cantidad de dispositivos de diferente propósito y ninguno de los estándares de comunicación pretende unificarlos. La red crece y se consolida a medida que el número de dispositivos que se pueden conectar incrementa, por tanto la red M2M debe ser soportada por vínculos múltiples para que la comunicación entre todos los dispositivos sea posible.

Después de haber estudiado las características de los principales protocolos M2M se observa que ZigBee está muy bien situado para aplicaciones de baja potencia con bajas tasas de transmisión de datos, y donde se necesite integración de gran cantidad de sensores. Bluetooth está posicionado para aplicaciones de corta cobertura con tasas medias de transferencia tales como archivos y audio. Wi-Fi trabaja muy bien con altas tasas de transmisión destacando la solidez y versatilidad de su infraestructura. La Tabla 2-2 resume las características más importantes de los tres protocolos.

	ZigBee IEEE 802.15.4 (6LoW-PAN)	Bluetooth (Low Energy)	Bluetooth	Wi-Fi- IEEE 802.11
Tasa máxima de transmisión de datos	250 kb/s	1 Mb/s	Básico 1 Mb/s, mejorado 3 Mb/s	22 Mb/s con 802.11 y 144Mb/s con 802.11.n
Rango de cobertura en interiores	10-20 m extendible mediante multi-hop routing	5-15 m	1-10-100 m	45 m con 802.11 y 70 m con 802.11n
Consumo de potencia	Bajo, ultra-bajo	Bajo	Medio	Alto
Banda de frecuencia	2,4 GHz-868 MHz y 912 MHz	2,4 GHz	2,4 GHz	2,4 GHz, 3,6 GHz y 5,6 GHz
Aplicaciones	Electrodomésticos inteligentes, medición inteligente, dispositivos de control y monitorización, sistema de iluminación y seguridad residencial	Monitorización en salud, relojes, teclados, mouse	Voz, transferencia de datos, teclados, control de juegos.	Redes, audio y video digital, voz, datos

Tabla 2-2 Comparación de tecnologías de comunicación M2M [24].

e. Red de comunicación casera

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

Para soportar comunicación permanente con 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 empresa 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 “ultra-low or low power” [28].

- **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 electrificadora. En la Figura 2.7 se presentan los requerimientos en los marcos referenciales de la HAN [28].

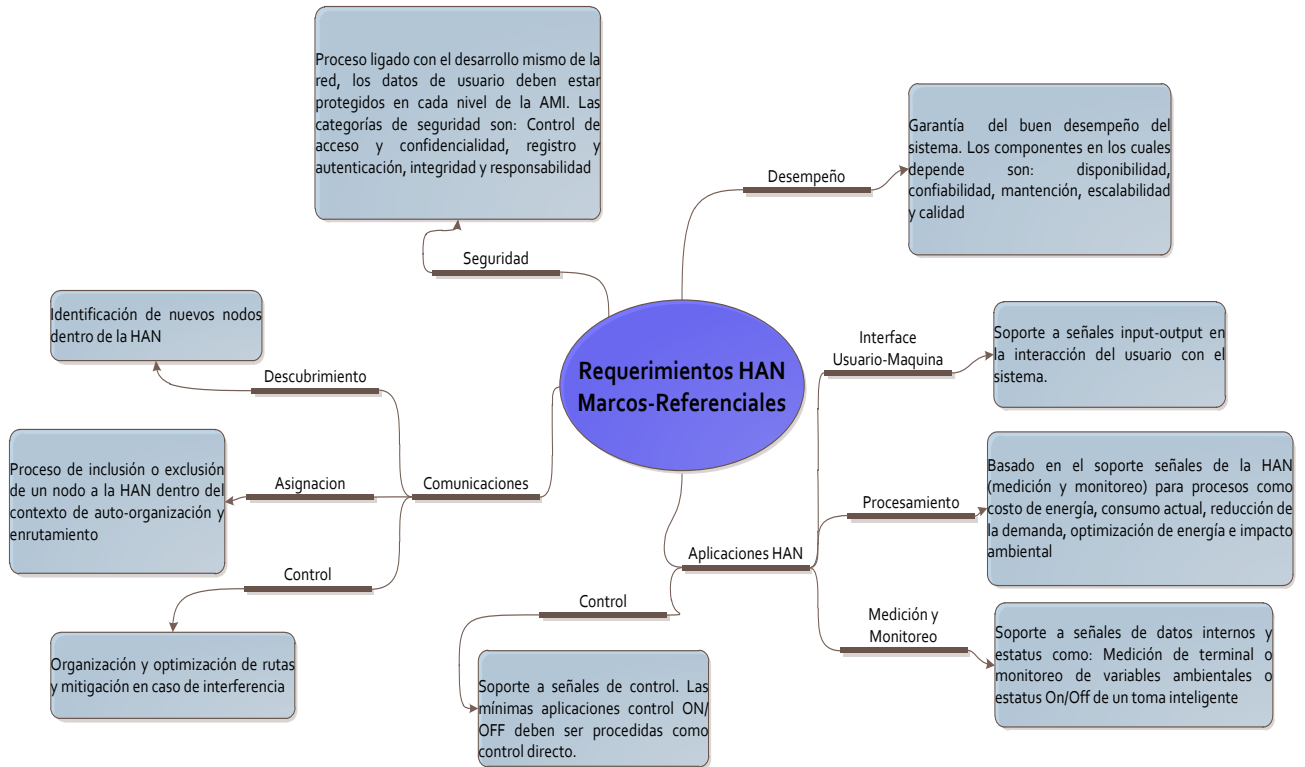


Figura 2.7 Requerimientos HAN- Marcos referenciales [Autores]

- **Requerimientos en integración de protocolos**

ZigBee es un estándar especialmente diseñado para aplicaciones de baja potencia en sistemas de control y monitorización, no obstante un hogar inteligente integra una gran cantidad de dispositivos de propósitos y protocolos de comunicación diferentes, por lo que la conformación de la HAN debe soportar la comunicación permanente entre la mayor cantidad de dispositivos del hogar inteligente, en correspondencia, la HAN debe ser potenciada con una Gateway de soporte NAT.

En este caso particular no hay integración entre las redes de entretenimiento, seguridad y gestión energética. Sin embargo, usualmente la interfaz usuario-máquina es redundante y trasciende diferentes estándares de comunicación. La mayoría de los sistemas HEMS tienen una interfaz en cada uno de los ambientes del usuario: interfaz Web-based, PC software, Home Display y "Smartphone apps". En la Figura 2.8 se presenta un red HAN convergente mediante una Gateway M2M.

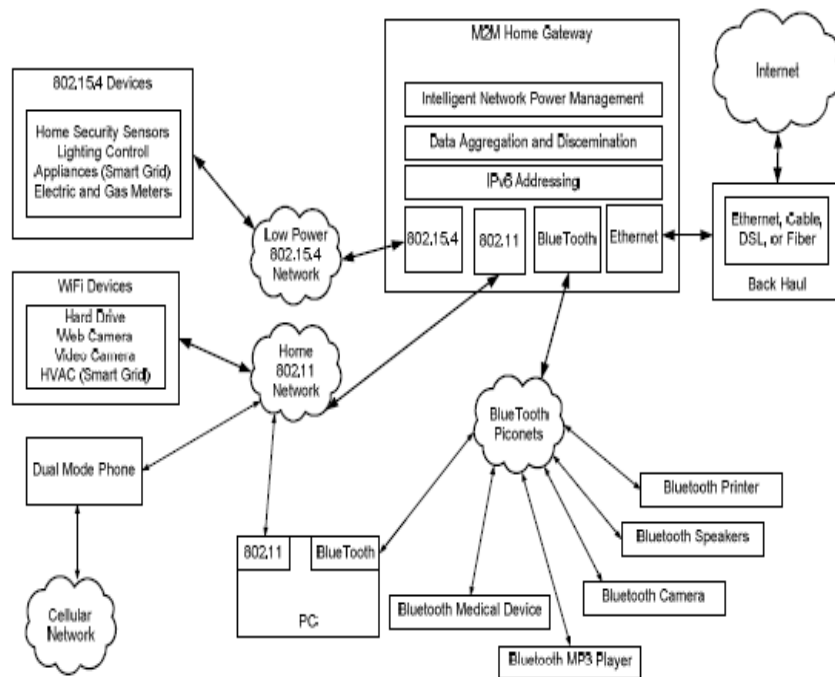


Figura 2.8 Red HAN convergente- Gateway M2M [24]

2.4.2. Componente de la información

El sistema de información en un HEMS tiene dos módulos fundamentales: la recolección, manejo y almacenamiento de los datos, y la visualización de la información para ser presentada al usuario.

a. Central de datos

La central de datos o sistema de información debe satisfacer dos requerimientos principales: la capacidad de manejo y flujo continuo de datos y, la capacidad de recolectar y guardar información.

- **Capacidad de manejo y flujo de datos.**

El sistema de información o central de datos va ligado al sistema eléctrico y al flujo de energía eléctrica a través de éste. La capacidad de manejo de datos es básicamente el manejo de la información del flujo de energía eléctrica utilizando tecnologías de información.

La información utilizada en HEMS incluye medición en tiempo real, datos históricos, decisiones de control, variables endógenas y exógenas, etc. La información viaja a través de la red HAN y permite la operación de los actuadores. La tendencia actual recalca la necesidad de la heterogeneidad de la HAN debido a la amplia variedad de actuadores de diferentes propósitos y por tanto diferentes protocolos de comunicación [14].

- **Capacidad de recolectar y guardar información**

Es importante que el sistema tenga la capacidad de almacenar información tanto de la respuesta de los usuarios, como del consumo energético de los mismos. Toda información recolectada sobre como el usuario consume su energía eléctrica y como responde a las recomendaciones dadas, es procesada por el software para dar una retroalimentación más personalizada.

El almacenamiento de información es trascendente si se quiere realizar la comparación entre periodos de consumo o para potenciales aplicaciones futuras de interacciones sociales que utilizan los principios socio-económicos de comunidades con iguales características energéticas para evaluar a los usuarios frente a estándares e incentivar a aquellos en exceso, al desarrollo de hábitos amigables con el ambiente [11].

- b. Interfaz usuario**

En el campo de interacción hombre-máquina, la interfaz usuario es el canal de acción-respuesta entre el hombre y la máquina. La meta de esta interacción es la monitorización y el control efectivo de la máquina, así como la retroalimentación de la misma. Para tal fin, muchos medios y métodos pueden ser considerados efectivos, sin embargo la forma y la consistencia en la presentación de datos al usuario es determinante en la eficiencia general del sistema. Las consideraciones requeridas en las características de la interfaz usuario se presentan a continuación [11], [29], [30].

- **Fácil acceso a datos detallados**

En una buena interfaz usuario los botones deben estar ubicados en la misma pantalla, requiriendo sólo un clic para acceder a información más detallada. La interfaz puede contener varias gráficas importantes que complementarían la retroalimentación al usuario, elegibles de acuerdo a los datos que el usuario esté demandando; esta gráfica aparecería en la parte principal de la pantalla y debe ser agradable a la vista, clara y concisa. A su vez la interfaz usuario debe ser flexible en el acceso a datos pasados; comparar periodos de consumo es útil para que el usuario mida y sea consciente de sus excesos en consumo, al igual le ayuda al usuario a fijar metas de ahorro energético.

A continuación se muestra una de las primeras interfaces desarrolladas bajo estos principios en un estudio piloto (Osaka, Japón) y la interfaz actual del programa de gestión energética “PowerHouse”.



Figura 2.9. Interfaz usuario de ECOIS II [11] e interfaz software “PowerHouse”.

- **Provisión de información útil para que los residentes ahorren energía.**

La interfaz usuario debe soportar actividades adicionales a mostrar gráficas y curvas de consumo. La versatilidad del sistema de información debe sensibilizar al usuario en diferentes perspectivas y en términos fácilmente comprensibles para el usuario promedio. Comúnmente las interfaces muestran datos de sensibilización al usuario como: el gasto energético en pesos, o la reducción del consumo en huellas de carbono, igualmente permiten mostrar mensajes de alerta y consejos de ahorro energético. Este manejo de la información permite flexibilidad frente a las diversas condiciones culturales de los usuarios, por ejemplo, para un usuario tipo un factor de sensibilización sobre sus patrones de consumo puede ser el gasto de energía eléctrica en pesos, o la tarifa actual del \$/kWh, mientras que para otro, un factor de mayor motivación al ahorro energético pueden ser mensajes de sus kWh ahorrados traducidos a su equivalente en disminución de emisiones CO2 o en litros de agua ahorrados.

En definitiva, la interfaz es un elemento vital en la sensibilización al usuario y junto con el software de gestión de datos, puede inclusive comenzar a recolectar información de la respuesta del usuario a la retroalimentación, contando el número de veces que se visita una gráfica o con contadores de respuesta a los consejos de ahorro energético como “voy a tratar el tip” o “no me interesa”.

2.4.3. Componente ontológico

Muchos de los problemas que actualmente acarrea el planeta implican mejora en eficiencia energética. Los usuarios residenciales sin lugar a duda son un sector de vasto potencial en ahorro energético y aunque la revolución de productos e iniciativas en esta dirección es evidente, estas herramientas deben ser diseñadas basadas en principios de comportamiento humano para que tengan el impacto deseado. Por tanto el diseño de sistemas de gestión energética residenciales deben corresponder a la integración de tres criterios: economía, psicología y tecnología, tal como Rory Sutherland sintetiza las características del diseño de impacto en la actualidad⁸.

Gran cantidad de estudios utilizan herramientas de gestión energética residencial basadas en principios simples de monitorización y retroalimentación al usuario. Recalcan su potencial junto con la combinación de técnicas inteligentes de razonamiento y control lógico. Pero más importante resaltan el potencial como herramienta pedagógica que progresivamente crea hábitos racionales y energéticamente eficientes de consumo en los usuarios. A continuación se describen algunos de los estudios y los conceptos en los cuales se soporta teóricamente el concepto HEMS como: la monitorización desagregada del consumo, la retroalimentación al usuario, las características de respuesta-usuario y el impacto en las elecciones y estilos de vida [12], [31]. En este contexto, al final de este numeral se presenta un marco ontológico de referencia.

a. Importancia del monitorización desagregado del consumo

El sistema de monitorización debe responder a la disfuncionalidad del sistema actual de facturación. Desde 1982 Willemtt Kempton y Laura Montgomery ilustraban la paradoja del sistema de facturación actual, citada en el capítulo uno. Mediante el sistema de monitorización, el usuario podría conocer su consumo desagregado en tiempo real y por tanto estaría en capacidad de determinar cuando sus patrones de consumo son excesivos o moderados. La configuración de un sistema de monitorización e información incluye la integración de una red elocuente entre el medidor inteligente, sensores de energía o tomas inteligentes, una plataforma central de manejo de datos, una Gateway y una o múltiples interfaces usuario [4].

b. Retroalimentación al usuario

Un reporte del Electric Power Research Institute (EPRI) en 2009 define retroalimentación como *“la transmisión de información evaluada y corregida con respecto a una acción, evento o proceso hacia la fuente original o al control general”*. Centrándonos en gestión energética, esta información sería solamente información sobre consumo energético. A continuación se explica en más detalle los diferentes tipos y características de la retroalimentación al usuario en el contexto de HEMS.

- ***Espectro de los diferentes tipos de retroalimentación al usuario.***

⁸ Conferencia TED, “Perspective is everything”, Mayo 2012.

Existen muchas formas de caracterizar la retroalimentación al usuario, incluyéndose por tipo y frecuencia de la información proporcionada, por el tipo de mecanismo a través del cual se envía la información al usuario, por las características del consumidor, por la forma de facturación. Según el EPRI 2009 la retroalimentación es clasificada en dos categorías: retroalimentación directa e indirecta; las cuales son entendibles según la frecuencia y el tipo de la información provista.

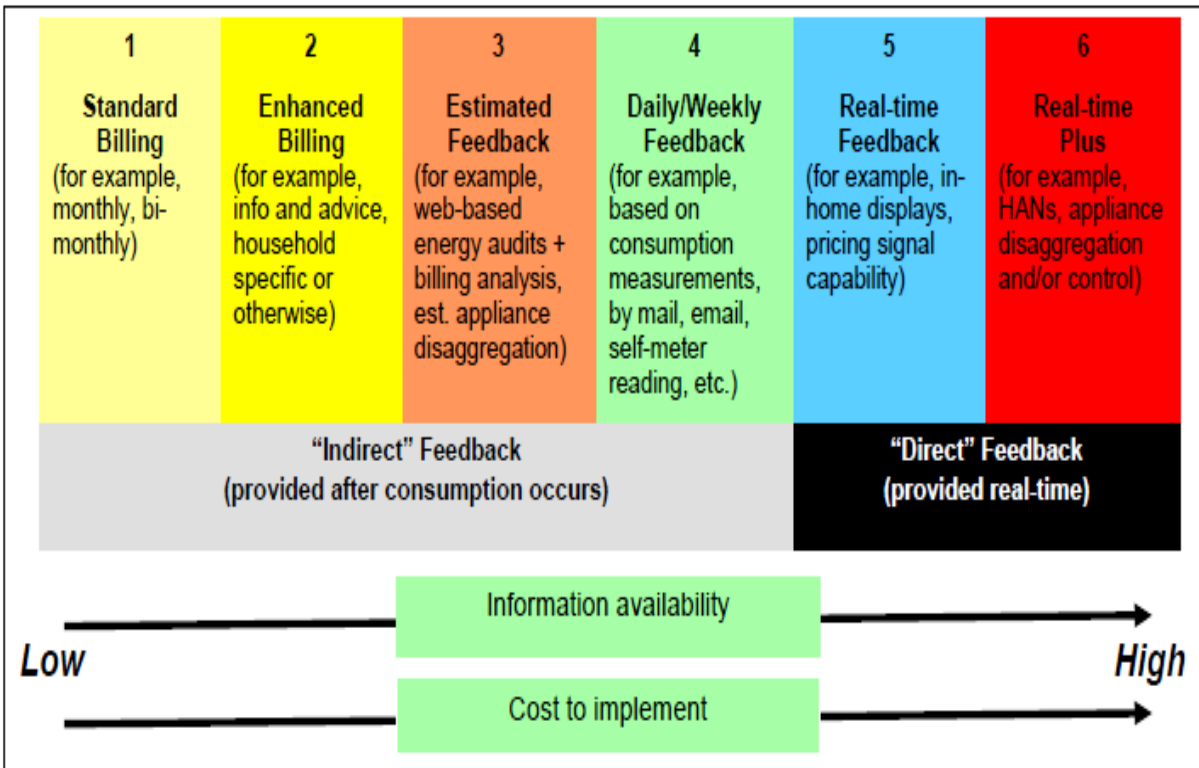


Figura 2.10 Tipos de Retroalimentación y efectos [12].

- **Retroalimentación indirecta**

La retroalimentación indirecta es cualquier tipo de información suministrada un tiempo después de ocurrido el consumo. En la Figura 2.10 son diferenciados cuatro tipos de retroalimentación indirecta.

Tipo 1: Facturación estándar

Es el tipo de retroalimentación que tradicionalmente los usuarios reciben. La factura muestra el consumo de energía eléctrica en KWh, el valor del KWh para el periodo de facturación, algunos otros cargos de impuestos y alumbrado público y por último la suma a pagar y la fecha de pago. En Colombia en particular los periodos de facturación son mensuales o bimensuales y corresponden a los valores obtenidos de la lectura de los medidores en la mayoría de los casos, en algunos otros casos muy específicos se factura mediante estimaciones del promedio de consumos pasados.

Tipo 2: Facturación mejorada

Un poco más adecuada que la facturación estándar, provee información más detallada sobre los patrones de consumo del usuario residencial incluyendo información estadística que ayuda al consumidor a comparar sus patrones de consumo con patrones típicos de consumo de usuarios con similares características. Normalmente también se incluye información de la composición del consumo basados en patrones estándares de la composición del consumo de un usuario tipo. A pesar de estas nuevas características agregadas a la factura los reportes siguen siendo elementales.

Tipo 3: Retroalimentación estimada

Esta categoría usa herramientas estadísticas para desagregar el total de energía consumida por el usuario en un hogar típico. Actualmente éstas son herramientas ofrecidas por algunas empresas electrificadoras mediante un portal web, donde los usuarios pueden acceder a información más detallada de su consumo. Sin embargo, el resultado sigue siendo un estimado del consumo desagregado del usuario ajustado periódicamente que se realizan a manera de auditoría interna del uso de energía en el hogar.

Tipo 4: Retroalimentación diaria o semanal

Basado en el envío periódico de reportes al usuario, sin embargo, los reportes eran muy similares y sus cambios eran limitados a eventos temporales como oleadas de calor, un nuevo habitante en la casa o la renovación de electrodomésticos viejos por otros más eficientes. Los estudios en este tipo de retroalimentación tienen limitaciones en el tamaño de la muestra debido a los costos que implicaba la entrega de los reportes a la época [12]. En la Actualidad AMI cambia el escenario.

- **Retroalimentación directa**

Se refiere a la provisión de mecanismos que brinden información al usuario en tiempo real o casi tiempo real sobre su consumo de energía eléctrica. En la Figura 2.10 se identifican dos tipos de retroalimentación directa: tiempo real, y tiempo real más servicios complementarios.

Tipo 1: Retroalimentación en tiempo-real

Basado en una interfaz usuario llamada “In Home display”, el cual es uno de los mecanismos que más atención ha llamado entre las empresas electrificadoras. Se trata de un mecanismo que recoge información del medidor de energía y la muestra en una pequeña pantalla que puede ser ubicada en cualquier lugar de la casa. La pantalla presenta información del consumo total de energía en tiempo real o cerca a tiempo real y traduce la información de consumo kWh al costo real basado en la tasa de \$/kWh de la empresa electrificadora. Proveer información del consumo en tiempo real y a su vez el valor en pesos ayuda a que los clientes asocien y entiendan el impacto de sus patrones de consumo.

Tipo 2: Retroalimentación en tiempo real desagregada más servicios complementarios

Esta categoría permite al usuario no sólo ver su consumo total en tiempo real, también el consumo desagregado por electrodoméstico. La información del consumo desagregado es basada en mediciones, diferente a la retroalimentación estimada presentada anteriormente, la cual era obtenida de análisis estadísticos.

La infraestructura necesaria para hacer posible este tipo de retroalimentación también brinda el soporte para otros tipos de sistemas como: control individual de dispositivos manual o remotamente mediante una red HAN. Además, la inclusión de medidores inteligentes hacen posible la comunicación entre la red HAN y la infraestructura AMI, lo cual abre nuevas aplicaciones de integración en los edificios residenciales. Dependiendo de los dispositivos de uso final, el sistema puede proveer lo siguiente:

- Consumo desagregado por electrodoméstico.
- El histórico del consumo por periodos según preferencias del usuario (diario, semanal, mensual).
- Consumo expresado en kWh, pesos colombianos y huellas de carbono.
- Programación de patrones para controlar variables ambientales y demás electrodomésticos en la casa según preferencias de usuario, uso racional y respuesta a tarifa diferencial de \$/kWh.
- Señales de precio, alertas o respuesta a la demanda recibidos de la electrificadora.

c. Impacto en los hábitos y estilos de vida

La mayoría de los proyectos de investigación se concentran en estudiar el potencial de la retroalimentación al usuario como herramienta para reducir el uso de energía en el sector residencial. Es interesante a su vez como los usuarios basados en la retroalimentación recibida sobre su consumo, cambian sus elecciones, sus hábitos de consumo y sus estilos de vida.

El estudio “*What goes on behind the meter: real customer response to residential time of use pricing*” realizado en la ciudad de Sacramento (CA, USA, 2004), se centró en analizar el impacto de estas implementaciones en los usuarios, sus elecciones y estilos de vida. El estudio permitió una mejor percepción de como los usuarios decidían cambiar sus hábitos, estilos de vida, de tal manera que resultara en ahorros de energía. El estudio se realizó con participantes voluntarios, los cuales accedieron a participar por una o varias de las siguientes razones: Porque querían ahorrar dinero un 88%, para controlar su propio consumo de energía el 54% y el 33% por intereses medioambientales. El estudio indicó que el 86 % de los participantes uso menos energía en periodo pico y el 67% uso menos energía en general. En la Tabla 2-3 se presentan las acciones tomadas por los usuarios en dicho estudio.

Type of Change	Behavior	Percent
New Habits	Shifted usage	95%
New Habits	Checked thermostat display for critical periods	83%
Energy Stocktaking	Repaired air ducts	8%
Energy Stocktaking	Changed default temperatures on thermostat	42%
Low-cost Investments	Installed CFLs	59%
Higher-cost Investments	Replaced single with dual-pane windows	11%
Higher-cost Investments	Replaced inefficient refrigerator	9%
Higher-cost Investments	Replaced inefficient air conditioning	5%
Higher-cost Investments	Installed ceiling or wall insulation	5%

Tabla 2-3 Categorización de los cambios en comportamiento [4].

Otro estudio “*Effectiveness of displaying energy consumption data in residential houses analysis on how the residents respond*” realizado en Osaka-JapónRe, encontró resultados similares y reducción del consumo energético en porcentajes de hasta el 20%. En la Tabla 2-4 se puede observar en detalle la reducciones por electrodoméstico entre dos periodos de medición de condiciones climáticas similares, el primero sin el sistema de retroalimentación y el segundo tiempo después de implementado el sistema.

Appliance		Period I [Wh/day]	Period II [Wh/day]	Reduction [Wh/day]	Rate of reduction [%]
Power consumption	TV 1	789	335	454	58
	TV 2	347	355	-8	-2
	Refrigerator	2 259	2 187	72	3
	Electric pot	1 299	883	416	32
	Set of air con. 1	6 992	4 930	2 062	29
	Set of air con. 2	4 105	1 848	2 257	55
	Set of air con. 3	3 778	1 569	2 209	58
	Ele. fan heater 1	7 827	9 255	-1 428	-18
	Ele. fan heater 2	5 664	1 478	4 186	74
	Hot carpet 1	515	0	515	100
	Hot carpet 2	260	9	251	97
	Gas water heater	302	260	42	14
	Heated toilet	780	588	192	25
	Extractor fan	1 601	1 004	597	37
	Total of Not displayed	20 047	17 662	2 385	12
Total	56 562	42 365	14 197	25	
City Gas Consumption	46 379	40 100	6 279	14	

Tabla 2-4 Contraste desagregado del consumo de energía para un usuario tipo [11].

d. Marco ontológico de referencia.

Un marco de referencia ontológico se desarrolla mediante el establecimiento de varios diferentes sub-marcos ontológicos, cada uno de ellos autosuficiente y específicamente diseñado para controlar un aspecto del sistema, sin interferir con los aspectos de los otros, al igual que obediente a criterios de prioridad. La Figura 2.11 muestra un marco de referencia ontológico.

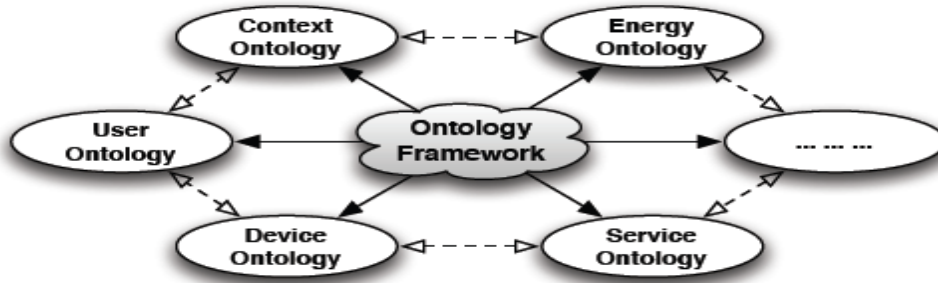


Figura 2.11. Marco de referencia ontológico [31].

Los sub-marcos son usados para realizar el modelado y codificación de los aspectos más relevantes de un aspecto específico del sistema dentro de una base global de conocimiento. En un hogar típico los sub-marcos referenciales son: contexto, operación, calidad del servicio, preferencias del usuario, consumo energético y servicio. El uso de lenguaje de codificación OWL (Web Ontology Language) admite un sistema estable e interoperable con otros marcos ontológicos, y junto con el uso de una interfaz-usuario semántica y concisa, repotencia la base global de conocimiento a eficientes técnicas de control lógico y toma inteligente de decisiones. En la Tabla 2-5 se resumen las funciones y alcances de los diferentes marcos ontológicos que permiten que el sistema de gestión tenga un amplio rango de respuesta y adaptabilidad y diferentes tipos de escenarios y aplicaciones.

Sub-marco Ontológico	Función y alcance
Dispositivo	Codifica variables de los electrodomésticos del usuario como: ID, tipo, locación, estatus, características eléctricas.
Servicio	Codifica una serie de servicios tales como: comunicaciones, seguridad, domótica y entretenimiento
Contexto	Usado para establecer todas la circunstancias que rodeen una situación y que permitan entenderla
Usuario	Establece las preferencias del usuario

Energía	Codifica órdenes y parámetros de gestión interna y externa, estatus actual y futuro.
---------	--

Tabla 2-5. Resumen de las funciones de los sub-marcos ontológicos.

2.5. Topología básica de un sistema de gestión.

La tecnología de la información actual permite que existan diversos sistemas de gestión funcionando en una gran variedad de campos; en la gestión energética residencial existen al igual diferentes sistemas. En la Figura 2.12 se presenta una topología que integra monitorización desagregada y continua del consumo de energía eléctrica, retroalimentación al usuario, control manual y remoto de cargas y comunicación bidireccional con la empresa electrificadora en un sistema de gestión energética residencial que responde a las necesidades del usuario local.

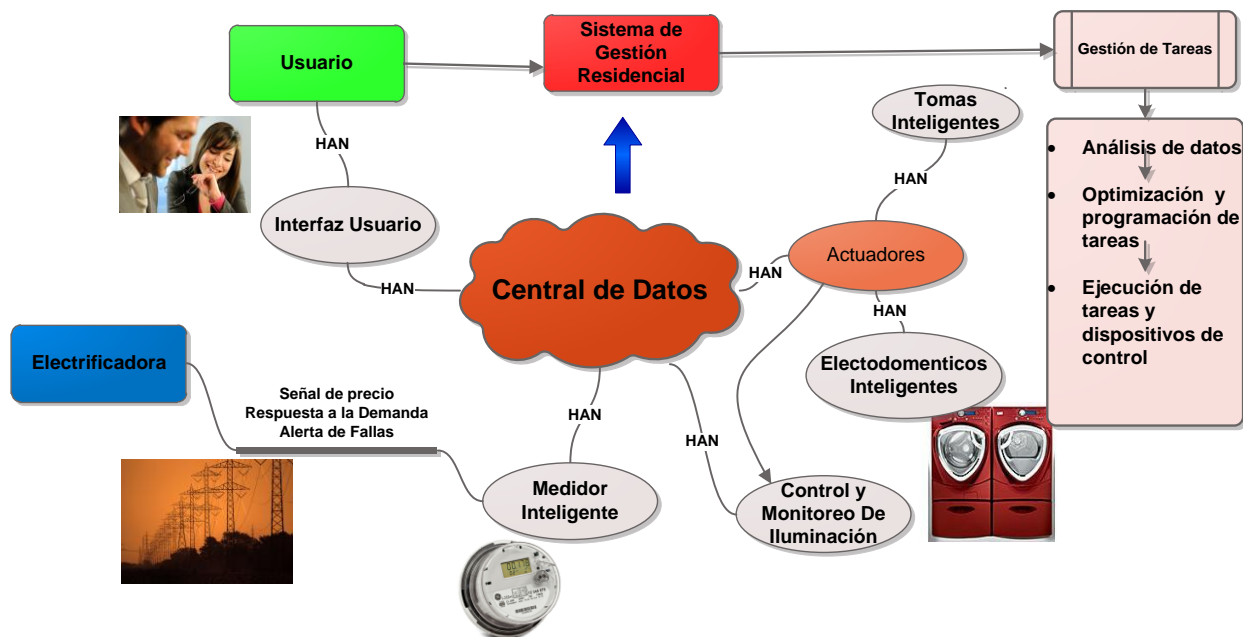


Figura 2.12 Topología del sistema de gestión energética residencial [Autores].

En la tropicalización de la tecnología se definen las siguientes características funcionales requeridas por la topología para que el usuario tenga capacidad de gestión energética:

- Monitorización continua del consumo de energía eléctrica desagregado por aplicación.
- Retroalimentación directa desagregada cercana a tiempo real
- Control manual y remoto de actuadores
- Comunicación bidireccional con la empresa electrificadora y soporte AMI

2.6. La gestión energética residencial en Colombia.

La gestión energética residencial en Colombia está en un nivel reglamentario muy por debajo del necesario para la introducción de tecnologías como: redes inteligentes, AMI y HEMS. Los esfuerzos en aras de la reglamentación y promulgación de la eficiencia energética por parte de las entidades gubernamentales se revisan y presentan en el Anexo A, las características más relevantes se exponen a continuación.

2.6.1. 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).

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. La Figura 2.13 presenta los objetivos y las metas finales en eficiencia energética del PROURE (ver Anexo A- Figura A.1) [32].


METAS FINALES DEL PROURE			OBJETIVOS DEL PROURE
EFICIENCIA ENERGÉTICA			
Sector	Potencial de Ahorro de Energía Eléctrica a 2015	Meta de Ahorro de Energía Eléctrica a 2015	
Residencial	10.6%	8.7%	
Industrial	5.3%	3.4%	
Comercial, Público y servicios	4.4%	2.7%	
TOTAL	20.2%	14.8%	

Figura 2.13 Metas finales y objetivos del PROURE [33].

2.6.2. Decreto reglamentario 3683 de 2003

La Ley 697 de 2001 fue reglamentada a través del Decreto 3683 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 [34].

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 (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.

2.6.3. Decreto 2501 de 2007

Las medidas señaladas en el presente decreto son para propiciar el uso racional y eficiente de energía eléctrica en los siguientes productos y procesos:

- En los productos destinados para el uso final de energía eléctrica, tanto de fabricación nacional como importados para su comercialización en Colombia, en los siguientes procesos: Iluminación, refrigeración, acondicionamiento de aire, fuerza motriz, calentamiento de agua para uso doméstico, calentamiento para cocción.
- Las edificaciones donde funcionen entidades públicas.
- Las viviendas de interés social [35].

2.6.4. Decreto 3450 de 2008

Lo dispuesto en el Decreto 3450 de 2007 señala que en el territorio de la República de Colombia, todos los usuarios del servicio de energía eléctrica sustituirán las fuentes de iluminación de baja eficacia lumínica por fuentes de iluminación de mayor eficacia lumínica disponibles en el mercado [36].

2.6.5. Resolución 180919 de 2010

Con el objetivo de cumplir lo establecido en el PROURE, se adoptó el Plan de Acción Indicativo 2010-2015, el cual definió unos subprogramas estratégicos y prioritarios sectoriales, metas e indicadores para la aplicación gradual en toda la cadena energética a fin de crear las condiciones de uso racional y eficiente de la energía y aprovechamiento de las fuentes no convencionales de energía en Colombia [37] (ver Anexo A- Figura A.2). La Tabla 2-6 muestra los subprogramas prioritarios para el sector residencial, con sus respectivos costos y objetivos.

Subprograma Prioritario Residencial	Costo [Millones US\$]	Objetivo
Sustitución de bombillas incandescentes	96	Reemplazo de 32 millones de bombillas incandescentes por bombillas fluorescentes compactas en los estratos 1,2 y 3.
Uso eficiente de energía en equipos de refrigeración, aire acondicionado y demás electrodomésticos	770	Reemplazo y chatarrización de 2.000.000 de neveras.
Hornillas eficientes	0,5	Inversión en capacitación e investigación aplicada.

Diseño, construcción y uso eficiente y sostenible de viviendas	0,5	Inversión en capacitación e investigación aplicada.
Gas Licuado de Petróleo-GLP en el sector rural y zonas marginales	0,2	Consultoría básica.

Tabla 2-6 Subprogramas prioritarios para el sector residencial [37].

2.6.6. 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 los siguientes requisitos y/o características técnicas: (ver Anexo A- Figura A.4)

- 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 medición [38].
- 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. 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 norma:

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

- 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, tal como se muestra en la Tabla 2-7.

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.
Multienergía	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 multienergía, 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.

Tabla 2-7 Clasificación del Medidor de Energía Eléctrica por su Complejidad [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.

2.6.7. 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 como consecuencia de 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.

Es de suma importancia priorizar que el objetivo del programa es mejorar los indicadores energéticos en los usos finales, es decir, obtener una misma unidad de servicio prestado con menor consumo de energía sin perjuicio de la calidad del servicio [39]. La Figura 2.14 presenta la etiqueta de eficiencia energética implementada en Colombia.

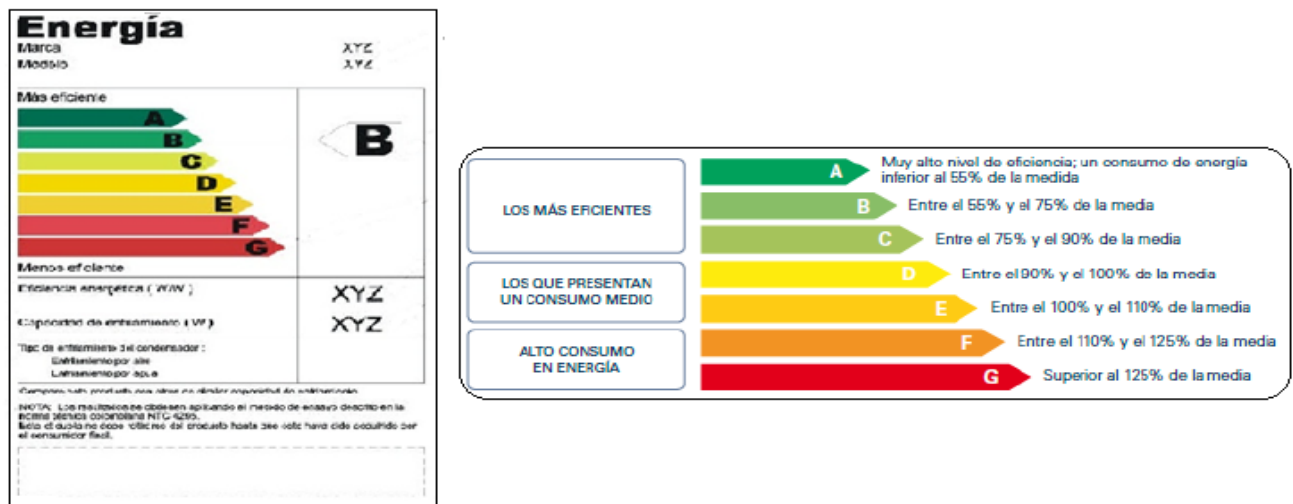


Figura 2.14 Etiqueta energética colombiana, con su respectiva explicación [NTC 4366].

Con la implementación de la etiqueta energética se desea promover el uso de equipos con altos niveles de eficiencia energética, logrando ser un medio de información entre el fabricante y el consumidor; además consolida la capacidad y el conocimiento del usuario en términos energéticos y económicos para una acertada toma de decisiones en el momento de la adquisición de un equipo.

2.6.8. 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 [40] (ver Anexo A- Figura A.3). En la Figura 2.15 se muestra un esquema con el objetivo de la norma ISO 50001.



Figura 2.15 ISO 50001 [40].

2.7. Caracterización de la carga de uso final en usuarios residenciales.

La caracterización de la carga de uso final en usuarios residenciales se realizó mediante la revisión del estudio de consultoría No. 1517, contratado por la UPME a la Universidad Nacional de Colombia en Noviembre de 2005 “*Determinación del consumo final de energía en el sector residencial urbano y comercial y determinación de consumos para equipos domésticos de energía eléctrica y gas*” tal como se muestra en el Anexo B, del cual se obtuvo la composición porcentual del consumo promedio mensual de energía eléctrica por estratos para la ciudad de Medellín, sin embargo como se justificó en dicho anexo es válido tomarlos como referencia para la ciudad de Bucaramanga. La composición porcentual del consumo de energía eléctrica que permite la caracterización de la carga de uso final se muestra en la Tabla 2-8.

COMPOSICIÓN PORCENTUAL DEL CONSUMO MENSUAL DE ENERGÍA ELÉCTRICA MEDELLÍN 2006						
Uso/Estrato	Estrato 1	Estrato 2	Estrato 3	Estrato 4	Estrato 5	Estrato 6
Iluminación	20,26%	27,74%	38,73%	26,05%	50,86%	18,67%
Refrigeración	60,96%	46,66%	36,54%	44,61%	27,03%	47,29%
Televisión	10,16%	10,87%	7,80%	11,36%	6,45%	8,65%
Otros Electrodomésticos	8,63%	14,73%	16,93%	17,98%	15,67%	25,40%
TOTAL	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%

Tabla 2-8 Composición porcentual del consumo promedio mensual de energía eléctrica por uso y estrato en la ciudad de Medellín, Colombia [41].

Este estudio, basado en encuestas y mediciones establece un procedimiento que analiza: la tenencia de electrodomésticos, las horas de uso y la potencia de los electrodomésticos; concluyendo en una torta porcentual de la composición del consumo por cargas características. En la Tabla 2-8 se puede observar que las componentes principales del consumo total de energía eléctrica para todos los estratos son: refrigeración, iluminación, televisión y otros electrodomésticos. A 2006 los electrodomésticos que componían el consumo “otros electrodomésticos” eran: lavadora de ropa, licuadora, plancha, horno microondas y secador de pelo. Sin embargo, en los últimos años es evidente la creciente demanda de electrodomésticos y dispositivos de entretenimiento digital y comunicación. Estos factores conllevan a cambios en la composición porcentual del consumo, el componente de televisión mostrado en el estudio que ahora sería entendido como entretenimiento incrementaría su participación en la

composición, una vez añadidos dispositivos como: consolas de juego, reproductores DVD, sistemas de audio HD, etc. En el componente otros electrodomésticos se esperarían al igual un incremento en la participación del consumo total, debido a los aportes en consumo de dispositivos móviles de comunicación y la mayor tenencia de electrodomésticos.

Cabe resaltar que actualmente se tienen componentes de mejor eficiencia en componentes como iluminación y refrigeración, por lo que se esperaría un decremento en la conformación de la composición total del consumo. En la Figura 2.16 se presenta una aproximación a la caracterización actual de la carga de uso final, basados en los resultados del estudio UPME y los aspectos anteriormente mencionados.

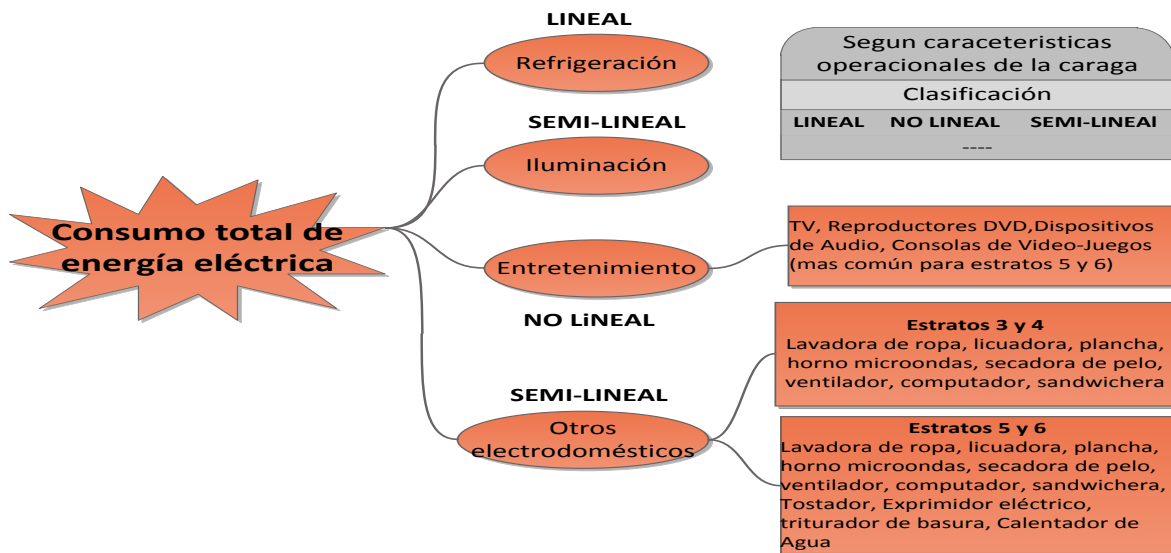


Figura 2.16 Caracterización de la carga de uso final para usuarios residenciales [Autores].

3. Sistema de gestión energética residencial basado en sub-medición por circuito.

En este capítulo se propone un primer escenario de gestión energética residencial. Basados en las funcionalidades expuestas en el numeral 2.5, se propone una alternativa que permita al usuario individual realizar acciones y actividades de gestión energética. Como requerimiento previo se tiene la distribución estratégica de los circuitos ramales en la unidad residencial.

El objetivo de presentar dos escenarios de gestión energética es incluir una mayor población con el fin de obtener un mayor impacto en la consecución global de ahorro energético y concientización al usuario. Este primer escenario tiene limitaciones en cuanto a gestión y control, pero está pensado para que tenga una inserción favorable en los estratos 3-4 y estará complementado por un segundo escenario de integración de componentes para los estratos (5-6) presentado en el capítulo siguiente.

El desarrollo de este capítulo comprende en su primera parte la descripción de la topología básica del sistema de gestión energética residencial basado en sub-medición por circuito, seguido por un desarrollo más acentuado del mismo, presentado a manera de propuesta.

3.1. Topología básica del sistema de gestión energética residencial basado en sub-medición por circuito.

Basados en los resultados del numeral 2.7 y en la teoría de consumo desagregado y retroalimentado desarrollada a lo largo de este proyecto, se propone una topología básica de un sistema de gestión energética residencial fundamentada en sub-medición, monitorización y control por circuito ramal.

La sub-medición, monitorización y control por circuito pretende brindar una aproximación al consumo por aplicación en tiempo real, al igual que un nivel mediano de control y gestión. En la

Figura 3.1 se describe el escenario que consta de sub-medidores y un módulo Hub de monitorización y gestión, ubicados en el dominio del cliente e integrados a una central de datos y una interfaz web-based, soportadas por las empresas electrificadoras.

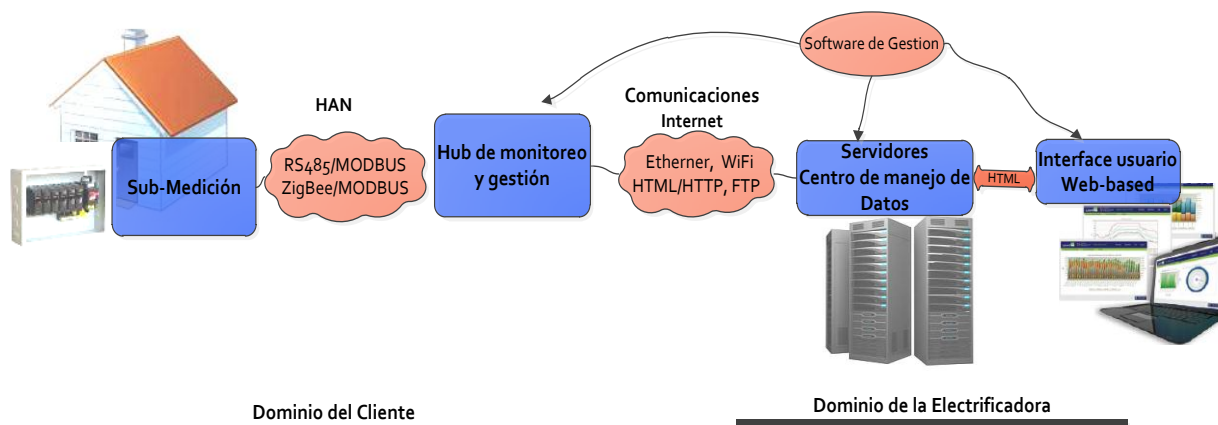


Figura 3.1 Topología básica del sistema de gestión energética residencial-primer escenario.
[Autores]

La Figura 3.1 describe el diagrama de bloques de la topología básica del escenario uno, la cual consta de: un sistema de sub-medición y de recolección de datos, una HAN, un Hub, una central de datos y una interfaz usuario.

La recolección de datos se realiza mediante dispositivos de sub-medida, uno por circuito. Los circuitos han sido previamente distribuidos estratégicamente para brindar al usuario la mejor aproximación posible, al consumo desagregado. La funcionalidad de la HAN es la de apoyar la recolección de datos mediante el uso de Gateways de recolección u otros dispositivos y conducirlos a la central de datos. El centro de manejo de datos debe incluir servidores de comunicación y de datos, en aras de cumplir con el procesamiento de datos exigido para la transmisión de datos coherentes a la interfaz usuario.

3.1.1. Comunicaciones

El sistema de sub-medición por circuito tiene dos dominios de comunicación, el primero es la HAN y el segundo es la comunicación con los servidores de la empresa electrificadora. Las especificaciones de los protocolos se definen a continuación.

a. HAN

La versatilidad y sencillez del estándar RS-485 hacen de éste, la mejor opción para las condiciones de la propuesta. En la topología descrita en la Figura 3.1 el componente sub-medición esta suplido por sub-medidores apilados en un tablero de distribución. Al tener dispositivos fijos y apilados la comunicación cableada es la más apropiada.

RS-485 es un estándar de comunicación en bus bidireccional para la transmisión serial de datos a altas velocidades, grandes y pequeñas distancias, y apto para operar en ámbitos eléctricamente ruidosos. Actualmente, la interfaz de comunicación RS-485 está siendo ampliamente utilizada por ser un estándar abierto, lo que permite muchas y muy diferentes configuraciones y utilidades como la adquisición y monitorización de datos y aplicaciones de

control. El sistema permite “colgar” del bus hasta 32 terminales, aunque en la actualidad ya se están utilizando sistemas de 128 y hasta 256 dispositivos conectados entre sí a una misma red de sólo dos hilos trenzados [42], [43]. La Tabla 3-1 presenta la características técnicas del estándar RS-485.

Características Técnicas RS-485 (TIA/EIA-485-A)	
Transmisión	Cableada, Diferencial
Topología de la red	Multipunto
Velocidad máxima de transmisión de datos	35 Mb/s a 12 m
Longitud máxima de alcance	1200 m a 100 Kb/s
Desempeño	Soporta 32 transmisiones y 32 receptores
Modos de funcionamiento	Half Duplex: Se refiere, a que solamente en un tiempo determinado, el sistema puede transmitir o recibir información, sin embargo no lo puede hacer al mismo tiempo.
Voltaje máximo en el conductor de salida	-7 V a 12 V
Voltaje mínimo en el conductor de salida (con carga)	$\pm 1,5$ V

Tabla 3-1 Características Técnicas RS-485

b. Comunicación con el dominio de la empresa electrificadora

La comunicación con la empresa electrificadora es a través de un proveedor del servicio de Internet (*Internet Service Provider, ISP*), luego es necesario un estándar que permita la transmisión de los datos del HUB central de control a la red de área local (LAN). Ethernet es la mejor opción simplemente porque es el método de conexión más extendido globalmente que permite un buen equilibrio entre: velocidad, costo y facilidad de instalación. Todo esto combinado con su buena aceptación en el mercado y la facilidad de soportar prácticamente todos los protocolos de red, convierten a Ethernet en la tecnología ideal para la mayoría de las instalaciones de LAN.

Ethernet (también conocido como IEEE 802.3) es un estándar de transmisión de datos para redes de área local que se basa en el principio de que no se puede transmitir más de una información a la vez. El objetivo es que no se pierda ninguna información, se controla con un sistema conocido como CSMA/CD (Detección de Portadora con Acceso Múltiple y Detección de Colisiones), cuyo principio de funcionamiento consiste en que una estación, para transmitir debe detectar la presencia de una señal portadora. Si dos estaciones empiezan a transmitir al mismo tiempo, se produce una colisión y ambas deben repetir la transmisión, para ello se espera un tiempo aleatorio antes de repetir la siguiente transmisión, de este modo se evita una nueva colisión, ya que ambas estaciones escogerían un tiempo de espera distinto. Este proceso se repite hasta que se reciba confirmación de que la información ha llegado a su destino[44].

3.1.2. Central de manejo de datos

La central de manejo de datos de la topología está ubicada en el dominio del operador de red, lo que significa que la empresa comercializadora prestadora del servicio invertiría en infraestructura para retroalimentar a sus usuarios en su consumo de energía eléctrica. El manejo de datos implica el desarrollo de tres componentes: Servidores web, interfaz web y un software de gestión de datos. A continuación se describe brevemente su funcionalidad para la aplicación del escenario en particular.

a. Servidor Web

Un servidor web comprende el hardware y software necesario para establecer la entrega de contenidos web al cliente que los requiera. La función principal de servidor web es entregar paquetes de datos HTML por medio del protocolo Hipertext Transfer Protocol (HTTP). En la aplicación específica de la arquitectura del sistema de sub-medición por circuito el servidor tendría asociada una base de datos con la información del consumo de energía eléctrica y otros parámetros por usuario.

b. Interfaz Web-Based

La interfaz es el vínculo de interacción (Usuario-HEMS), por el cual el usuario recibe retroalimentación de sus patrones de consumo, y a su vez es el enlace por el cual el usuario hace solicitudes al sistema. Una interfaz web-based tiene la ventaja de accesibilidad vía internet, así que puede accederse desde cualquier computador personal o dispositivo móvil mediante un navegador web y no implica gasto de hardware adicional. Para la aplicación de sub-medición en particular, la interfaz web estaría asociada a la página web de la empresa electrificadora en una sección especial donde cada usuario con los requerimientos de autenticación, privacidad y seguridad correspondientes, al igual que los requerimientos de diseño descritos en el capítulo uno, podría acceder a sus datos de consumo de energía eléctrica.

c. Software de gestión de datos

El software de gestión de datos es el encargado del manejo y transferencia de datos de consumo desde el Hub al servidor y a la interfaz, al igual que de gestionar las solicitudes del usuario al servidor si son requisitos de consumo, o al Hub si son señales de control.

3.1.3. Sub-medidor.

Un sub-medidor tiene características similares de un medidor inteligente; un módulo de medición de energía eléctrica especialmente diseñado para aplicaciones residenciales monofásicas, un módulo de almacenamiento de datos, un módulo de control, un módulo conmutador ON/OFF, un módulo de potencia y un módulo de comunicación (ver Figura 3.2). Por supuesto tiene variaciones y limitantes propias de la aplicación, la mayoría de los sub-medidores se concentran en la medición de potencia activa a 120 V y en la transmisión inalámbrica o cableada de dichas medidas al Hub de monitorización y control.

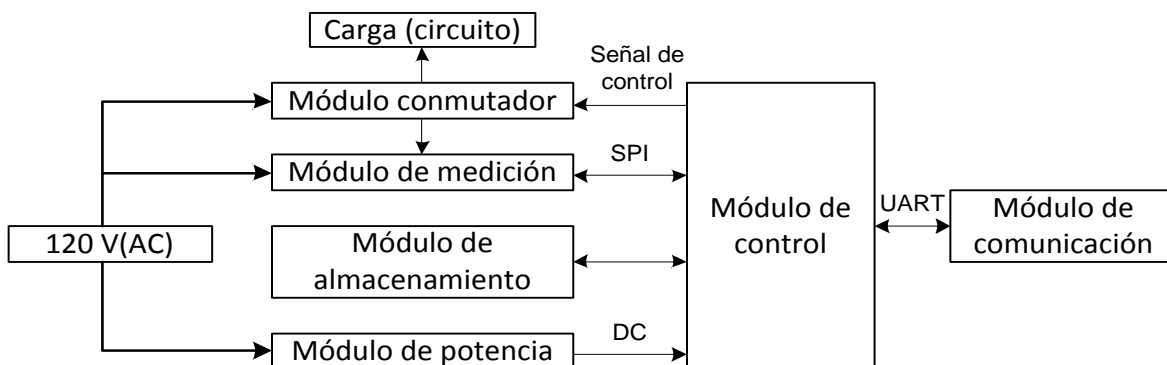


Figura 3.2 Diagrama de Bloques Sub-medidor [9]

3.1.4. Hub central de control

El Hub de monitorización y control es un servidor de adquisición de datos inteligente y flexible que permite la recolección de datos de los sub-medidores y sensores ambientales. El Hub es un sistema computacional embebido con propósitos de control específicos. El sistema tiene un procesador dual OMAP⁹ (*Open Multimedia Applications Platform*) o similar y unos módulos individuales que integrados, procesan las configuraciones y preferencias de los usuarios junto con los datos recolectados de sensores y sub-medidores, ejecutando opciones básicas de control en las cargas. Dentro de las funciones básicas del Hub está la recolección y registro de todos los datos de los dispositivos conectados a la red casera aguas abajo, dichos datos son etiquetados y almacenados en una memoria no volátil hasta que ocurra la próxima carga programada a la web mediante el módulo Ethernet utilizando protocolos TCP/IP, HTTP/HTML o FTP. En la Figura 3.3 se presenta el diagrama de bloques del Hub y la Tabla 3-2 se presenta la descripción de las características de cada modulo [45].

⁹ OMAP es un sistema embebido desarrollado por *Texas Instrumesnts* para aplicaciones móviles.

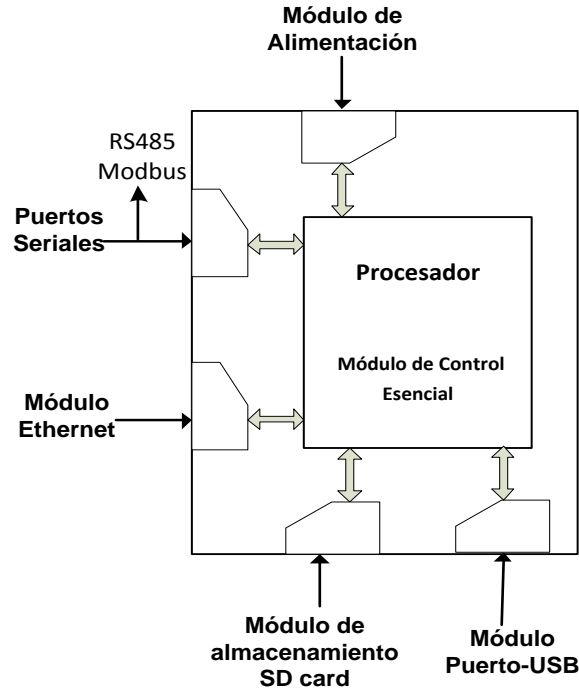


Figura 3.3 Diagrama de bloques Hub de monitorización y control [Autores]

Funciones básicas por cada módulo	
Puertos seriales	Soporta la incorporación de diversos módulos de comunicación como: RS485 , ZigBee, WiFi, etc.
Módulo Ethernet	Es un canal físico que permite el control y monitorización remota de cargas vía Internet
Módulo de almacenamiento SD-Card	Usa una memoria no volátil SD para almacenar y mantener los datos de medida.
Módulo de alimentación	Provee la fuente de poder para la alimentación eléctrica del HUB
Módulo de control esencial	Ejecuta las funciones básicas del sistema y está a cargo de la gestión y el control de las cargas del hogar

Tabla 3-2 Funciones básicas por cada módulo del Hub de monitorización y control.

3.1.5. Síntesis del sistema de gestión basado en sub-medición por circuito-escenario uno

La Tabla 3-3 resume el sistema de gestión energética planteado en función de la sub-medición por circuito para el primer escenario propuesto en este trabajo.

SISTEMA DE GESTIÓN BASADO EN SUB-MEDICIÓN POR CIRCUITO-ESCENARIO UNO	
Componentes	Características Funcionales
Comunicación	
RS485, Ethernet, WiFi	Dos dominios de comunicación, HAN y comunicación con la electrificadora.
Actuadores	
Sub-Medidor	Medición y control ON/OFF de energía eléctrica por circuito 120 V, [15-60A] , módulo de comunicación, dimensiones físicas consecuentes con tableros de distribución convencionales
Hub	Central de operaciones del sistema, manejo de datos de los sub-medidores, modulo de comunicación
Interfaz Usuario	Web-based, concisa, versátil, agradable, interactiva y flexible en la presentación de datos y graficas de consumo, módulo de comunicación
Aplicaciones	
Retroalimentación al consumo	La configuración estratégica por circuitos según características de la carga permitirá al usuario una aproximación al consumo desagregado de sus aplicaciones, el usuario tendrá acceso a información de su consumo energético por circuito y cada circuito tendrá una desagregación de sus componentes en la interfaz usuario que permitirá al cliente gestión y retroalimentación sobre su consumo.
Monitorización y control por circuito	El sistema provee al usuario con una interfaz Web-based con datos de su consumo de energía eléctrica por circuito en porcentaje del total, con sus respectivos dispositivos asociados. El usuario podrá ejercer gestión de sus aplicaciones por circuito.

Tabla 3-3 Síntesis del sistema de gestión energética basado en sub-medición por circuito-escenario 1.

3.2. Propuesta de gestión energética residencial, basada en sub-medición por circuito

La propuesta de gestión energética residencial surge como una solución a la necesidad de potenciar a los usuarios con capacidad de gestión y retroalimentación a su consumo de energía eléctrica.

Esta propuesta está enfocada en los estratos socioeconómicos 3 y 4, luego una limitante importante es el costo de inversión. Con el propósito de presentar una propuesta económica que no comprometa el nivel de gestión y la retroalimentación propuesta, se fusionaron dos conceptos: una distribución estratégica de circuitos ramales basados en las características de la carga y una sub-medición por circuito ramal. La presentación de la propuesta comprende la distribución estratégica de circuitos ramales, la arquitectura, la funcionalidad y los beneficios.

3.2.1. Distribución estratégica de circuitos ramales derivados del tablero de distribución.

La distribución estratégica de circuitos ramales está fundamentada en tres enfoques, el primero es la oferta inmobiliaria actual para los estratos 3 y 4; el segundo es la caracterización de la carga de uso final para usuarios residenciales descrita en el numeral 2.7; y por último, las características de la demanda según la norma de la ESSA S.A.

a. Oferta inmobiliaria actual para los estratos 3 y 4.

Se realizó una revisión de la oferta inmobiliaria en las principales constructoras del ámbito local para los estratos socioeconómicos 3 y 4 tal como se muestra en el Anexo C, y se obtuvieron las distribuciones arquitectónicas comunes por estrato presentadas en la Tabla 3-4.

	ESTRATO 4	ESTRATO 3
Distribución arquitectónica común por estrato	Área promedio por unidad residencial: 85 m ² Sala-comedor 2 Alcobas Auxiliares 1 Alcoba Principal 1 Baño 1 Baño Auxiliar (alcoba ppal.) Cocina Hall de TV Balcón Zona de ropas	Área promedio por unidad residencial: 70 m ² Sala-comedor 2 Alcobas Auxiliares 1 Alcoba Principal 1 Baño 1 Baño Auxiliar (alcoba ppal.) Cocina Estudio Balcón Zona de ropas

Tabla 3-4 Características arquitectónicas comunes para los estratos 3 y 4.

La tabla anterior permite concluir que la única diferencia significativa es el área construida por hogar, lo cual es un resultado concluyente para proponer una configuración de circuitos ramales unificada para los dos estratos.

a. Caracterización de la carga de uso final para usuarios residenciales.

La caracterización de la carga nos suministra dos recursos importantes para la distribución estratégica de circuitos ramales; el primero es la composición en porcentaje del consumo mensual de energía eléctrica y el segundo son datos del tipo de electrodomésticos que tiene un usuario tipo, las características de los mismos, al igual que sus patrones de uso.

La Tabla 3-5 muestra la composición porcentual del consumo promedio de energía eléctrica para los usuarios residenciales en Medellín al año 2006, sin embargo como se justifica en el Anexo B, es válido tomarlos como datos de referencia para la ciudad de Bucaramanga. La composición porcentual del consumo de energía eléctrica permitirá la separación estratégica de circuitos ramales para la sub-medición y monitorización por circuito.

COMPOSICIÓN PORCENTUAL DEL CONSUMO MENSUAL DE ENERGÍA ELÉCTRICA		
Uso/Estrato	Estrato 3	Estrato 4
Iluminación	38,73%	26,05%
Refrigeración	36,54%	44,61%
Televisión	7,80%	11,36%
Otros Electrodomésticos	16,93%	17,98%
TOTAL	100,00%	100,00%

Tabla 3-5 Composición porcentual del consumo promedio mensual de energía eléctrica-estrato 3 y 4.

En el numeral 2.7 se definieron los componentes del consumo total de energía eléctrica en un hogar típico, estos junto con algunas características energéticas de los electrodomésticos se presentan en la Tabla 3-6.

CARACTERÍSTICAS DE LOS DISPOSITIVOS ELÉCTRICOS PARA LOS ESTRATOS 3 Y 4		
Aplicación	Dispositivo eléctrico	Características y patrones de uso
Iluminación	Bombillas CFLs e Incandescentes	Eficiencia energética media, consumo perdido (CP) considerable
Refrigeración	Nevera	Eficiencia energética de los dispositivos media; patrón de uso elevado; pobre mantenimiento de los elementos constitutivos; uso de 2-5[años] en primera instancia, seguido por 6-10[años]
Entretenimiento	TV, DVD, Audio, Computador	Eficiencia energética de los dispositivos media; alto patrón de uso; consumo perdido y stand-by considerable
Otros Electrodomésticos	Lavadora de ropa, plancha, horno microondas, secadora de pelo, ventilador, sandwichera, cargadores de celular	Eficiencia energética de los dispositivos media; consumo perdido y stand-by considerable

Tabla 3-6 Características de los dispositivos eléctricos para los estratos 3 y 4.

CP, Es el consumo de energía que no genera beneficio al usuario debido a malos hábitos

b. Características de la demanda según la norma de la ESSA S.A.

Según la ESSA S.A. en su publicación “Normas para el cálculo y diseño de sistemas de distribución”, el diseño de instalaciones eléctricas internas para viviendas unifamiliares o multifamiliares deberá tener una carga mínima instalada por usuario de:

- $32 \left[\frac{VA}{m^2} \right]$ 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*.

c. Circuitos Ramales

Teniendo en cuenta los tres criterios mencionados anteriormente, se propone una distribución estratégica de circuitos ramales en los hogares de estratos 3 y 4, que permita un primer escenario de gestión energética residencial a través de la sub-medición, monitorización y control por circuito. La Tabla 3-7 presenta: los circuitos ramales, las área de dominio y los posibles electrodomésticos que los componen; la distribución se describe y justifica a continuación.

- (2) Circuitos de iluminación: Dos circuitos de iluminación son suficientes para cubrir el área de un hogar tipo y cumplir con la normativa vigente. Además el hecho que sean dos circuitos permite al usuario tener dos componentes zonales en el monitoreo de iluminación.
- (1) Circuito para refrigeración: Un circuito exclusivo para la nevera.
- (1) Circuito para lavadora de ropa y plancha: Un circuito exclusivo para la plancha y lavadora de ropa debido a su gran consumo de energía eléctrica y según lo estipulado en la normativa.
- (1) Circuito para entretenimiento: Se propuso un circuito para el entretenimiento (Televisores, reproductores DVD, dispositivos de audio, computador y ventilador) debido a su consumo energético por los hábitos de uso en estos estratos intermedios. El ventilador normalmente se conecta en tomacorrientes de las habitaciones, por tal motivo se encuentra en este circuito.
- (2) Circuitos para otros electrodomésticos: Dos circuitos para pequeños electrodomésticos según estipulaciones de la norma, para brindar comodidad y versatilidad al usuario.

CIRCUITO #	NOMBRE	ÁREA DEL HOGAR	ELECTRODOMÉSTICOS
1	Iluminación.	Zona de ropas, Cocina, Sala-comedor, Estar de TV, Terraza.	Lámparas fluorescentes compactas LFC (26W) y lámparas dicróicas.
2	Iluminación.	Alcoba Principal, Alcobas Auxiliares, Baños.	Lámparas fluorescentes compactas LFC (26W).
3	Entretenimiento.	Estar de TV, Alcoba Principal y Auxiliares.	Televisores, Reproductores DVD, Dispositivos de Audio, Computador, Ventilador.
4	Plancha-Lavadora de ropa.	Zona de ropas.	Plancha y Lavadora de ropa.
5	Electrodomésticos de cocina.	Cocina.	Horno microondas, Licuadora, sandwichera.
6	Refrigeración.	Cocina.	Nevera.
7	Otros pequeños electrodomésticos	Sala-comedor, Terraza, Baños.	Ventilador y otros pequeños electrodomésticos y equipos.

Tabla 3-7 Circuitos ramales derivados del tablero de distribución.

3.2.2. Arquitectura de la propuesta

La arquitectura de la propuesta para el sistema de gestión energética residencial basado en la sub-medición por circuito, se define como la primera aproximación a una visión holística de futuro desarrollo y potencial implementación en los estratos 3 y 4. La propuesta se sustenta en los sub-medidores inteligentes en actual desarrollo por el grupo de investigación GISEL en la E3T-UIS.

Como se menciono anteriormente la arquitectura propuesta se basa en la distribución estratégica de circuitos ramales desarrollada anteriormente (ver Anexo D) y el sistema de sub-medición por circuito presentado en el numeral 3.1. El sistema consiste en: recolección de datos de consumo de energía eléctrica por circuito, un control central, un Gateway, una red de comunicación casera (HAN), un servidor web y una interfaz usuario Web-Based, como expone la Figura 3.4.

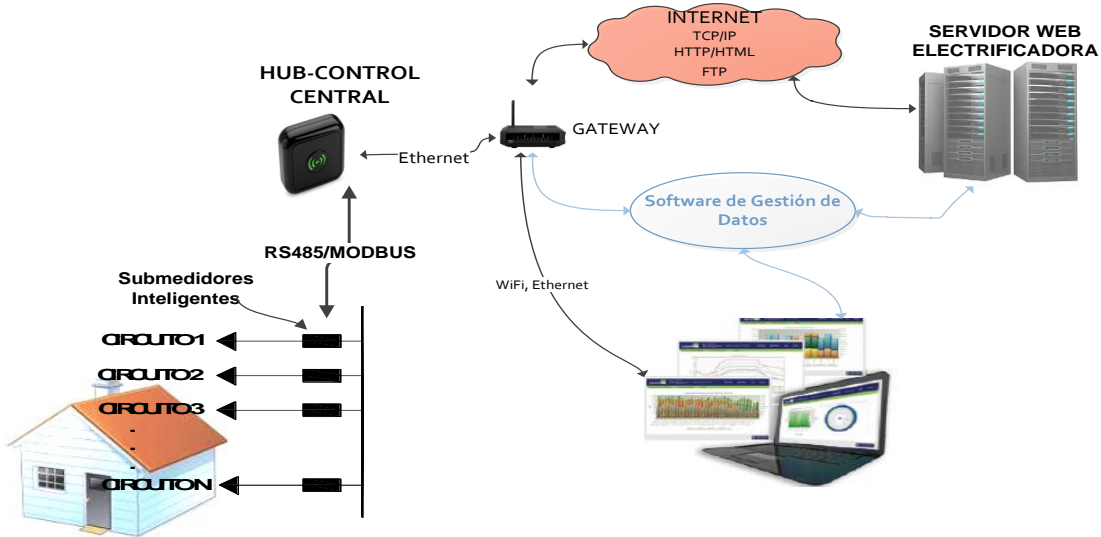


Figura 3.4 Arquitectura propuesta para el primer escenario de gestión, Sub-medición por circuito [Autores].

a. Componentes de la arquitectura

La definición de los requerimientos por componente busca acotar la arquitectura propuesta. En la Tabla 3-8 se listan los componentes y los requerimientos físicos y de diseño.

Componentes de la arquitectura	Requerimiento de forma y diseño
Tablero de distribución amigable	El diseño del tablero de distribución debe corresponder a las exigencias estéticas de dispositivos a la vista para instalación en interiores.
Protección Termo-magnética	Ningún requerimiento de forma diferente al de los diseños convencionales.
Sub-medidores inteligentes	EL principal requerimiento de forma del sub-medidor es dimensiones pequeñas y ensamblaje tipo riel omega
Hub-Control Central	Características de diseño amigable y agradable a la vista dimensiones físicas pequeñas

Gateway	Equipado con tecnología NAT (Network Address Translation)
Servidor Web	No aplica

Tabla 3-8 Componentes de la arquitectura.

b. Comunicaciones

En la Figura 3.4 se puede apreciar la convergencia de una serie de protocolos de comunicación, tal como se especificó antes en el numeral 3.1.1, el sistema comprende dos dominios: el dominio del usuario y el dominio de la empresa electrificadora. Las comunicaciones en el dominio del usuario componen la HAN y la comunicación con la empresa electrificadora se establece por medio de Internet y permiten al usuario accesibilidad a sus datos en la web y a la empresa electrificadora un canal directo con el usuario para aplicaciones en programas de energía inteligente.

La HAN está compuesta por el sub-medidor inteligente, un HUB, una Gateway y un computador personal. Los sub-medidores inteligentes establecen comunicación con el HUB por medio de una conexión cableada (RJ45) usando el estándar RS485 y el protocolo ModBus de comunicación de datos, una vez en el HUB los datos son transmitidos vía Ethernet a la Gateway, la Gateway establece dos puentes para el flujo de datos: puede enviar y recibir datos a través del estándar TCP/IP y los protocolos HTTP/HTML, FTP vía internet con el servidor web de la electrificadora y a su vez establecer una red WiFi o cableada con el computador personal del usuario permitiendo al usuario la transmisión de sus solicitudes de control e información .

3.2.3. Funcionalidad

La funcionalidad del sistema se define según las características actuales del sub-medidor inteligente en desarrollo, este ítem evalúa el potencial y las restricciones del dispositivo como hardware de la propuesta (ver Tabla 3-9). Al igual se presentan las características funcionales requeridas por los demás dispositivos. Los requerimientos se presentan desagregados en ítems de evaluación por cada dispositivo en las Tabla 3-10 a Tabla 3-13. Para la elaboración de los ítems se definieron las siguientes como las funcionalidades en gestión energética del sistema

- Monitorización y consumo desagregado por circuito con actualización diaria.
- Retroalimentación al consumo.
- Control remoto por circuito.

La Tabla 3-9 presenta los ítems de evaluación del potencial y restricciones del Sub-medidor inteligente como hardware de la arquitectura propuesta.

Características Funcionales - Sub-medidor Inteligente	
Monitorización y reporte de datos al control central por circuito vía RS485	✓
Control remoto ON/OFF a través del Hub Central	✓

Control Manual ON/OFF	x
Actúa como protección termo-magnética	x
Tensión de trabajo 120V	✓
Corriente Max 60 A	✓

Tabla 3-9 Características Funcionales - Sub-medidor Inteligente.

El nivel de coincidencia del Sub-medidor inteligente con las especificaciones del sistema es del 75%, bastante favorable, sin embargo se recomienda que en versiones futuras destinadas a gestión residencial se incorporen las dos funcionalidades carentes enunciadas en la Tabla 3-9. La incorporación de estas dos funcionalidades evitaría la instalación de las protecciones termo-magnéticas que por razones de costo y espacio resultaría bastante conveniente.

Las tablas de características funcionales por dispositivo se presentan a continuación.

Características Funcionales - Tablero de Distribución	
Soportar al usuario en el control manual por circuito, etiquetado de cada circuito ramal según aplicación	✓
Proporcionar el ensamble mecánico y eléctrico de las protecciones termo magnéticas y los sub-medidores inteligentes	✓
Proveer aislamiento mecánico y eléctrico para los dispositivos de protección y medida	✓
Proporcionar la conexión eléctrica independientes para cada uno de los circuitos ramales	✓
Soportar la conexión o desconexión eléctrica de cada circuito ramal sin afectar los demás circuitos	✓

Tabla 3-10 Características Funcionales - Tablero de Distribución

Características Funcionales - Protección Termo-magnética	
Proteger cada circuito ramal contra sobrecargas y cortocircuitos	✓
Brindar soporte al usuario en el control manual por circuito	✓

Tabla 3-11 Características Funcionales - Protección Termo-magnética

Características Funcionales - HUB Control Central	
Coordina Sub-medidores para monitorización por circuito	✓
Coordina Sub-medidores para control remoto por circuito	✓
Almacena datos de consumo por día/semana/año	✓
Soporta comunicación bidireccional con la electrificadora	✓
Adaptable a actualizaciones software e inclusión de futuras aplicaciones de la red Inteligente	✓

Tabla 3-12 Características Funcionales - HUB Control Central

Características Funcionales - Interfaz, Portal Web	
Consumo total de la energía eléctrica kWh, con actualización diaria	✓
Consumo desagregado de energía eléctrica por circuito en % del consumo total	✓
Visualización del consumo en \$ diariamente	✓
Visualización de datos históricos	✓
1 semana	✓
1 mes	✓
1 año	✓
Diseño amigable y agradable a la vista	✓
Concisión y versatilidad en los datos mostrados	✓
Canal de retroalimentación al establecimiento de metas de ahorro energético al igual que recomendaciones basados en datos de consumo del usuario para incentivar programas como la renovación de dispositivos eléctricos y la migración de carga a horas de baja demanda	✓

Tabla 3-13 Características Funcionales - Interfaz, Portal Web

3.2.4. Beneficios

El beneficio global de la propuesta son usuarios con la infraestructura mínima necesaria para gestionar y monitorizar su consumo de energía eléctrica. El brindar al usuario la posibilidad de gestión se traduce en ahorros globales de energía, una descripción de los posibles beneficios para el usuario y la empresa electrificadora se presenta en la Tabla 3-14.

Beneficios de la propuesta	
Para el usuario	Para la empresa electrificadora
<ul style="list-style-type: none"> • Información diaria del costo en pesos de su energía eléctrica • Metas de ahorro y consejos para lograrlas • Monitorización diaria de su consumo desagregado por circuito. • Control manual y remoto de sus cargas por circuito • Mensajes de retroalimentación de su consumo energético. • Ahorro energético y económico 	<ul style="list-style-type: none"> • Datos diarios del consumo desagregado de sus usuarios • Datos diarios de calidad de la energía de sus usuarios. • Información complementaria de los dispositivos y electrodomésticos de los usuarios • Canal de comunicación con el usuario • Infraestructura mínima necesaria para programas de achatamiento de la curva de demanda diaria. • Reducción del consumo de energía eléctrica

Tabla 3-14 Beneficios de la propuesta para usuarios y electrificadora.

4. Sistema de gestión energética residencial basado en gestión por aplicación.

En este capítulo se presenta un segundo escenario de gestión energética residencial. La topología del sistema de gestión residencial basado en gestión por aplicación integra: monitorización y retroalimentación continua por aplicación, control remoto de cargas y comunicación bidireccional con la empresa electrificadora para inclusión de programas de energía inteligente.

La gestión energética residencial por aplicación demanda: un mayor número de actuadores en la topología, un mayor nivel de integración de componentes, versatilidad, funcionalidad y control del sistema de gestión, y está subordinado a presupuestos de inversión superiores, lo que sugiere a los estratos 5-6 como el mercado objetivo para la implementación de la topología.

A continuación se presenta la topología básica del sistema de gestión energética residencial basada en gestión por aplicación y la selección de la oferta comercial HEMS.

4.1 Topología básica del sistema de gestión energética residencial, basado en gestión por aplicación.

La Figura 4.1 muestra la arquitectura básica del diseño de un segundo nivel de integración de componentes tecnológicos, que al igual que el primer escenario de sub-medición por circuito busca proveer al usuario con lecturas de su consumo desagregado, retroalimentación y capacidad de gestión energética. La principal característica de este nivel de integración es la comunicación bidireccional con la empresa electrificadora. Esta característica permite la implementación de aplicaciones de energía inteligente como: respuesta a la demanda y tarifa diferencial; estas aplicaciones son básicamente señales que llegan al medidor inteligente, el cual las transmite a través de la red HAN al Hub central de control, donde se generan tareas posteriormente procesadas y ejecutadas mediante los actuadores. Además la arquitectura permite otras funciones de gestión como: operación de cargas de forma remota, eliminación del consumo stand-by y control por electrodoméstico, al igual que información del consumo de energía eléctrica desagregada y en tiempo cuasi real, historiales diarios, semanales o mensuales de consumo y comparación entre periodos de consumo de características similares.

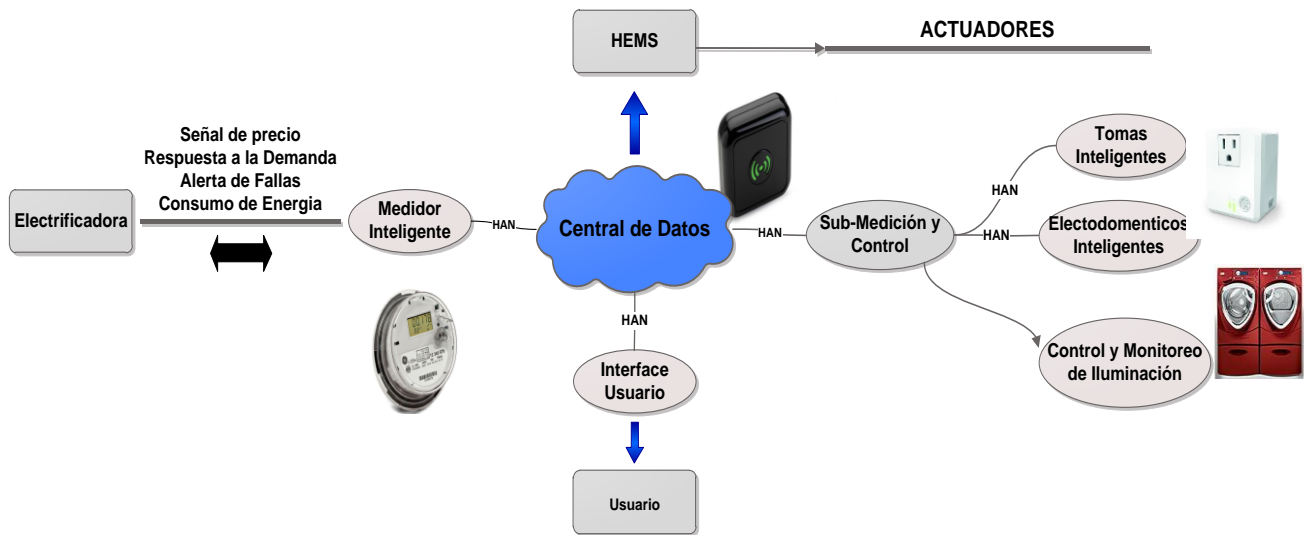


Figura 4.1 Infraestructura básica del sistema de gestión energética residencial-segundo escenario [Autores].

4.1.1. Comunicaciones

Las redes inalámbricas actualmente predominan sobre las redes cableadas y son las llamadas a soportar las necesidades de las HAN. Las redes inalámbricas tienen varias ventajas de gran aceptación en el mercado comercial, una de ellas es el bajo costo de instalación y la otra es la flexibilidad en la configuración ya que los dispositivos son de bajo consumo y se alimentan mediante baterías.

El estándar ZigBee ha emergido para suplir el mercado de monitorización energética, redes de control y gestión energética, tal como lo hizo Wi-Fi al suplir la transmisión inalámbrica de datos, inclusive con proyecciones de crecimiento similares. ZigBee es un estándar específicamente diseñado para aplicaciones de monitorización, gestión y control altamente confiables con requerimiento de operación de muy bajo consumo.

En el capítulo uno se ilustró sobre los protocolos M2M más acordes a las necesidades específicas del sistema de gestión energética residencial, que son básicamente soporte a la monitorización del consumo desagregado de energía, control de dispositivos, interacción con otros dominios y comunicación bidireccional con la empresa electrificadora. En el contraste de los protocolos M2M de la Tabla 2-2, ZigBee aparece como el estándar que mejor soporta todos los requerimientos técnicos de las aplicaciones al igual que las características de baja potencia, además de las ventajas en logística y operacionales que ofrecen su fuerte consolidación en el mercado. La Tabla 4-1 muestra las características técnicas de interés del estándar ZigBee.

Especificaciones técnicas ZigBee IEEE 802.15.4 (ZigBee/6LoW-PAN)	
Tasa máxima de transmisión de datos	250 kb/s

Rango de cobertura en interiores	10-20 m extensible mediante multi-hop routing
Consumo de potencia	Ultra-bajo, bajo
Banda de frecuencia	2,4 GHz-868 MHz y 912 MHz
Aplicaciones	Electrodomésticos inteligentes, medición inteligente, dispositivos de control y monitorización, sistema de iluminación y seguridad residencial

Tabla 4-1 ZigBee-especificaciones técnicas [24]

4.1.2. Hub central de control

Al igual que en el primer escenario, es esencial el Hub central de control o núcleo en la arquitectura, para el acoplamiento de todos los actuadores de la topología y las preferencias del usuario. En este escenario en particular el núcleo también será sensible a las señales de respuesta a la demanda y tarifa diferencial provenientes del operador del sistema y la empresa comercializadora [46]. El diagrama de bloques del Hub se presenta en la Figura 4.2.

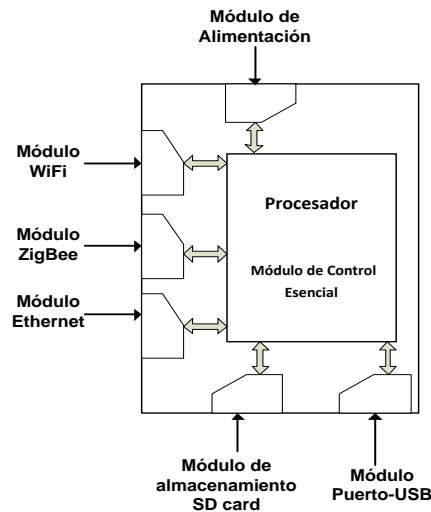


Figura 4.2 Diagrama de bloques del Hub- segundo escenario [Autores].

4.1.3. Sistema de monitorización y control de iluminación.

La tendencia actual en el diseño de instalaciones eléctricas tipifica los circuitos de iluminación como circuitos exclusivos. Generalmente un hogar típico tiene dos circuitos de iluminación con una protección de 15-20 [A] cada uno. La eficiencia de las luminarias actuales CFLs (Compact Fluorecent Lamp) de 50-70 lúmenes por Watt (lm/W) y las LEDs (Light Emitting Diode) con eficiencia de 94 (lm/W) sobre las luminarias tradicionales incandescentes con eficiencias entre 10-15 (lm/W), ha permitido una disminución considerable en el gasto energético en iluminación [47], [48]. En la ciudad de Bucaramanga las lámparas CFLs representan la mayoría del total de lámparas instaladas, inclusive lámparas LEDs tienen una presencia notoria en estratos 5 y 6 [49]. En este orden de ideas un indicador global de consumo energético en iluminación es apropiado, ya que el bajo consumo de una luminaria no justificaría la monitorización individual, más las complicaciones en comunicación y manejo de datos que implicaría introducir al sistema esta cantidad de actuadores. Por lo tanto, el hardware necesario para la monitorización del consumo de iluminación debe ser de características similares al del sub-medidor inteligente del primer escenario de gestión e interoperable con el sistema de gestión.

4.1.4. Actuadores o dispositivos de medida y control.

Los dispositivos de medida y control pertenecientes al sistema de gestión energética residencial propuesto se exponen a continuación, resaltando sus características técnicas y requerimientos:

a. *Medidor inteligente*

Como se mencionó en el Capítulo uno, un medidor inteligente es un dispositivo de medición de avanzada que permite medir el consumo de energía e información complementaria en tiempo real y comunicarlos de forma segura.

A continuación se presentan las funcionalidades básicas exigidas al medidor inteligente por el HEMS:

- Comunicación bidireccional entre la empresa electrificadora y el usuario.
- Monitorización de parámetros del sistema de potencia.
- Corte y reconexión remota del servicio de energía eléctrica para cualquier cliente.
- Soporte a HAN, en el caso específico soporte a redes ZigBee.

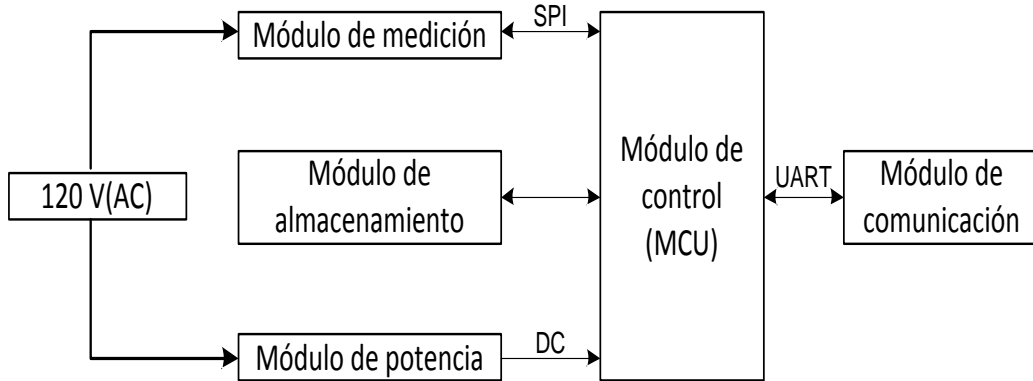


Figura 4.3 Diagrama de bloques medidor inteligente [9].

b. Tomas inteligentes

La norma NTC 2050 define un “tomacorriente AC como un dispositivo que tiene por un lado conexiones hembra para la conexión de una o varias clavijas (dependiendo de si es múltiple o no) y por el otro lado contactos para la conexión a los circuitos de salida, es un dispositivo simple sin más dispositivos de contacto que el mismo molde”. Una toma inteligente tiene las mismas características más la integración de un módulo que le permiten funcionalidades de comunicación e integración, control y medida. El diagrama de bloques de una toma inteligente, los módulos y funciones se presentan en la Figura 4.4 y en la Tabla 4-2 respectivamente.

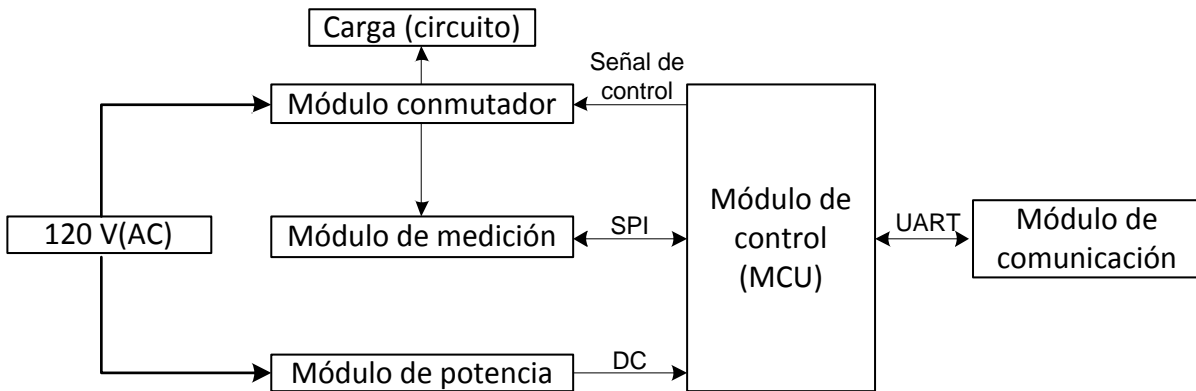


Figura 4.4 Diagrama de bloques de una toma inteligente [9].

Módulo de control	Ejecuta las funciones básicas del sistema y está a cargo del control ON/OFF de los electrodomésticos.
Módulo de comunicación	Permite enviar y recibir datos a través de la HAN tales como mediciones de energía eléctrica y señales de control ON/OFF
Módulo de medición energía eléctrica	Muestra el consumo en tiempo real y estatus del electrodoméstico o dispositivo al cual esté conectado

Módulo de almacenamiento (opcional)	Usa un SD card para almacenamiento de datos de medición, pero como se resalta, no es común.
-------------------------------------	---

Tabla 4-2 Funciones de los módulos de un toma inteligente [26].

c. Electrodomésticos inteligentes

Electrodomésticos inteligentes son electrodomésticos con capacidad de respuesta a señales de las empresas electrificadoras en orden de ajustar su funcionamiento de acuerdo a conveniencias económicas del usuario. En un escenario de tarifa diferencial, los electrodomésticos inteligentes se auto-programan para evitar ciclos de trabajo en horas con pico en demanda y alto precio y por el contrario, trabajar a bajo costo en horas de baja demanda. Los electrodomésticos inteligentes integrados al HEMS le permite al usuario rastrear su consumo de energía eléctrica, además del control en la eliminación de consumo stand-by; sin embargo, si el usuario tiene una necesidad inmediata la auto-programación de los electrodomésticos se puede anular.

4.1.5. Síntesis del sistema de gestión energética residencial basado en gestión por aplicación.

En la Tabla 4-3 se resume el sistema de gestión energética basado en la gestión por aplicación con orientación a un segundo escenario (estratos 5 y 6).

SISTEMA DE GESTIÓN ENERGÉTICA RESIDENCIAL BASADO EN GESTIÓN POR APLICACIÓN- SEGUNDO ESCENARIO	
Componentes	Características funcionales
Comunicación	
HAN	ZigBee 2,4 GHz, cobertura de 10 a 20 [m] en interiores, bajo consumo energético operacional
Con la empresa electrificadora	Por medio del medidor inteligente, GPRS, 3G, WiMax, LTE o RF Mesh
Actuadores	
Medidor inteligente	Soporte AMI, comunicación bidireccional, compatibilidad con red casera ZigBee, estándar aplicable NTC 4052 (IEC 62053-21)
Tomas inteligentes	Medición de energía eléctrica, control ON/OFF, tensión de trabajo 120V, módulo de comunicación ZigBee
Protección inteligente	Medición y control de energía eléctrica por circuito 120 V- 15 A, módulo de comunicación ZigBee, dimensiones físicas consecuentes con tableros de distribución convencionales
Termostato inteligente	Gestión y manejo de aire acondicionado, programable a preferencias usuario, módulo de comunicación ZigBee
Núcleo o Hub	Central de operaciones del sistema, manejo de datos de los sensores y sub-medidores, programable a preferencias usuario, modulo de comunicación ZigBee
Interfaz usuario	Concisa, versátil, agradable, interactiva y flexible en la presentación de datos y gráficas de consumo, módulo de comunicación ZigBee
Aplicaciones	

Retroalimentación al consumo	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.
Monitorización continuo y control remoto de electrodomésticos	En la interfaz usuario, el cliente tendrá información de su consumo y estado de sus electrodomésticos en tiempo cuasi real, de igual forma el usuario está en la capacidad de manejar sus cargas de acuerdo a su conveniencia y preferencias de confort, ya sea manualmente o 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 bajo precio 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 empresas 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 recibirá beneficios en su factura sin comprometer su confort y preferencias

Tabla 4-3 Sistema de gestión energética residencial basado en gestión por aplicación- segundo escenario

4.2. 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 numeral 4.1. La metodología del proceso de selección propuesto comprende: la revisión de proveedores de tecnología, la depuración de la oferta comercial, la evaluación técnico-comercial de la oferta, y por último la descripción de la oferta recomendada.

4.2.1. Revisión de proveedores de tecnología

La selección empieza por una revisión de los proveedores de tecnología con presencia actual en el mercado de tecnologías como: hogares inteligentes, monitorización, automatización y redes inteligentes, en la Tabla 4-4 se presenta un total de 44 posibles proveedores.

Proveedores de Tecnología Revisados					
Aclara	Cisco	Energate	Icontrol	Phillips	Visible Energy, Inc
AlartMe	Control4	Energy Inc	Itron	Plugwise	Vivint
Ambient Deices	Cooper Power System	EnergyHub	Landis+Gyr	PowerHouse Dynamics	WattsUp?
Az Tech	Digi	GE	LG	Schneider Electric	WattVision
Belkin	DIYKYOTO	GreenEnergy Options	Leviton	Siemens	
Blueline Innovation	Eco-eye	HAI	Lutron	Tendril	
BlueTech	Ecobee	IBM	P3	Tenrehte	

			Intenational		
Bticino	Efergy	Intel	Panasonic	ThinkEco	

Tabla 4-4. Proveedores de Tecnología revisados en la selección de ofertas del escenario 2.

De las anteriores empresas se encontraron 19 ofertas con dispositivos y sistemas de gestión, sus componentes y características se muestran en la Tabla 4-5.

4.2.2. Depuración de la oferta comercial

El listado de proveedores se depura con base en la topología y funcionalidad del sistema definido en el segundo escenario. Los criterios de exclusión son: claridad de la oferta comercial, discrepancia entre la oferta y el sistema requerido, y la disponibilidad de especificaciones técnicas. Las ofertas seleccionadas son las siguientes:

- EnergyHub, Home Energy Management System
- General Electric, Brillion Technology Home Energy Management System
- HAI, Home Energy Management System
- Schneider Electric, Wisser Home Energy Management System
- Tendril, Energizer Home Energy Management System

Tabla 4-5. Análisis primario de oferta HEMS según lista de proveedores.

Empresa	Actuadores						Interfaz Usuario		Hub	Comunicaciones	Observaciones
	Automatización				Monitoreo		Dispositivo Físico	Web-Based/ PC-Based	hardware/ software		
	Medidor Inteligente	Termostato inteligente	Toma inteligente	Regleta inteligente	Medidor por circuito	Sensor de Energía por toma					
AlartMe	x	x	✓	x	✓	✓	x	Web y Móvil	✓	ZigBee	Especificaciones técnicas no disponibles
Belkin	x	x	x	✓	x	✓	ID		ID	ZigBee	Interfaz integrada en el sensor de energía
Digi	x	x	x	✓		✓	ID		ID	ZigBee	
Efergy	x	x	✓	✓	✓	✓	✓		ID	No especificada	
Energate	✓	✓	x	✓	x	x	✓	Web y Móvil	✓	ZigBee	Sólo disponible para electrificadoras en proyectos pilotos
EnergyHub	x	✓	✓	✓	x	✓	✓	Web y Móvil	✓	ZigBee	Aún no disponible para usuarios residenciales
GE	✓	✓	x	x	x	✓	✓	Software y Móvil	✓	ZigBee	Sólo disponible para electrificadoras en proyectos pilotos
HAI	x	✓	✓	x	✓	x	✓		✓	ZigBee	
Icontrol	✓	✓	x	x	x	x	✓	Web y Móvil	ID	ZigBee, Z-wave	Sólo disponible para electrificadoras
Landis+Gyr	✓	x	x	x	x	x	✓		ID	ZigBee	Sólo disponible para electrificadoras
Leviton	✓	x	x	x	✓	x	x	Web	✓	RS485	Adaptable a ZigBee con convertidor de puerto serial
Lutron	x	✓	✓	x	x	x	x	Web y Movil	ID	RF Mesh (Clearconnect)	
P3 Intenational	x	x	x	✓	x	✓	✓		ID	No especificada	
Plugwise	x	x	✓	x	x	✓	x	PC Based	✓	ZigBee	
PowerHouse Dynamics	x	✓	✓	x	✓	✓	✓	Web y Móvil	ID	ZigBee	
Schneider	x	✓	✓	x	✓	x	✓	Web y Móvil	✓	ZigBee	Aún no disponible para usuarios residenciales
Tendril	x	✓	✓	x	✓	x	✓	Web y Móvil	✓	ZigBee	Sólo disponible para electrificadoras
Visible Energy, Inc	x		✓	✓	x	x	x	Web y Móvil	ID	WiFi	
Vivint	x	✓	✓	x	x	x	✓	Web y Móvil	✓	Z-Wave	

ID* Integrado en los dispositivos que ofrece, no presenta dispositivo adicional de control central

4.2.3. Evaluación técnico-comercial de ofertas

La evaluación de las ofertas de gestión energética residencial de las 5 empresas que resultaron seleccionadas en la depuración comercial, se califican teniendo en cuenta los siguientes aspectos principales: comunicaciones, características físicas, funcionalidad y costo.

a. Comunicaciones

Dados los requerimientos en comunicación bidireccional (Electrificadora-Usuario), las soluciones en comunicación de cada una de las ofertas se evalúan en dos dominios: la HAN (dominio usuario) y la comunicación con la empresa electrificadora (dominio AMI). La Tabla 4-6 muestra la evaluación en comunicaciones para cada una de las ofertas.

Evaluación de las comunicaciones para las ofertas tecnológicas		
Oferta	Comunicaciones	
	Para HAN	Para empresa electrificadora
EnergyHub	ZigBee	El Hub del sistema de gestión tiene 2 opciones de comunicación con la electrificadora: puede conectarse a una red ZigBee* Smart Energy en el dominio AMI; o acceder a una red WiFi y establecer comunicación con la electrificadora vía TCP/IP
General Electric	ZigBee	Para establecer comunicación con la electrificadora el sistema tiene dos vínculos: un 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 Hub, el sistema tiene conectividad Ethernet y WiFi posibilitando la comunicación por medio de internet vía TCP/IP
HAI	ZigBee	El sistema actual tiene limitantes para comunicación con la electrificadora o el dominio 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.
Tendril	ZigBee	El sistema Energizer de Tendril establece comunicación con la empresa electrificadora por medio de Gateway (TCP/IP) canal físico Ethernet; o uniéndose a una red ZigBee* Smart Energy en el dominio AMI.

Tabla 4-6. Evaluación de las comunicaciones para cada oferta tecnológica.

b. Características físicas

En las características físicas se evalúan las dimensiones de los dispositivos, el diseño y la facilidad de instalación. En la Tabla 4-7 se presentan respectivamente las características físicas y de instalación, complementadas con fotografías del diseño de los dispositivos para cada una de las ofertas expuestas en la Tabla 4-8.

Instalación/Componentes	Evaluación Factor de forma y facilidad de instalación				
	EnergyHub	General Electric	HAI	Schneider Electric	Tendril
Medidor inteligente	No ofrece medidor inteligente	Forma cilíndrica estándar, peso 2.7 lb, cubierta en policarbonato con parasol El medidor I-210+c se instala usando una caja para medidor y practicas de instalación estándar.	No ofrece medidor inteligente	No ofrece medidor inteligente	No ofrece medidor inteligente
Interfaz usuario	Dimensiones [Altura; Ancho; Profundidad] (mm): [84;147;56]	Dimensiones físicas del dispositivo no especificadas, tamaño apropiado según fotografías de oferta	Dimensiones [Altura; Ancho; Profundidad] (mm): [92;96; 38]	Dimensiones [Altura; Ancho; Profundidad] (mm): [92;96; 38]	Dimensiones [Altura; Ancho] (mm): [53;92]
	Dispositivo portable, portal Web y aplicación móvil, alimentado a 120 V AC- 5V DC	Dispositivo portable, PC interfaz y aplicación móvil, alimentado 120 V AC-5V DC	Dispositivo portable físico	Dispositivo Portable y portal Web	Dispositivo portable, portal Web y aplicación móvil
Toma inteligente	Dimensiones físicas no especificadas, tamaño apropiado según fotografías de oferta	Dimensiones físicas no especificadas, tamaño apropiado según fotografías de oferta	Dimensiones [Altura; Ancho; Profundidad] (mm): [76.2;50.8;32]	Dimensiones [Altura; Ancho; Profundidad] (mm): [76.2;50.8;32]	Dimensiones físicas no especificadas, tamaño apropiado según fotografías de oferta
	Una conexión tipo clavija que acopla perpendicular al toma convencional, con una conexión hembra para clavija al respaldo	una conexión tipo clavija que acopla perpendicular al toma convencional, con una conexión hembra para clavija al respaldo	una conexión tipo clavija que acopla perpendicular al toma convencional, con una conexión hembra para clavija en la parte inferior	una conexión tipo clavija que acopla perpendicular al toma convencional, con una conexión hembra para clavija en la parte inferior	Es un toma con una conexión hembra para clavija al respaldo compatible con la caja para toma metálica estándar
Hub o Núcleo	Hub esta integrado en un sólo dispositivo con la interfaz usuario	Dimensiones [Altura; Ancho; Profundidad] (mm): [77;40;40]	Hub esta integrado en un sólo dispositivo con la interfaz usuario	Hub esta integrado en un sólo dispositivo con la interfaz usuario	Hub esta integrado en un sólo dispositivo con la interfaz usuario
	Dispositivo portable físico alimentado a 120 V AC- 5V DC	Dispositivo portable físico alimentado a 120 V AC- 5V DC	Dispositivo portable físico o empotrado en muro, a 120V	Dispositivo portable físico alimento a 115 V AC con batería recargable interna	Dispositivo portable físico o empotrado en muro, alimentado a 120V
Termostato inteligente	Dimensiones [Altura; Ancho; Profundidad] (mm): [101;147;36]	Dimensiones [Altura; Ancho; Profundidad] (mm): [136;106;26]	Dimensiones [Altura; Ancho; Profundidad] (mm): [92;140; 38]	Dimensiones [Altura; Ancho; Profundidad] (mm): [92;140; 38]	Dimensiones físicas del dispositivo no especificadas, tamaño apropiado según fotografías de oferta
	Dispositivo empotrado en muro, alimentación 120V AC y voltaje nominal de operación 24 V AC	Dispositivo empotrado en muro, alimentado por medio de un transformador certificado a 18-30 V AC.	Dispositivo empotrado en muro, alimentación 120V AC y voltaje nominal de operación 24 V AC	Dispositivo empotrado en muro, alimentación 120V AC y voltaje nominal de operación 24 V AC	Dispositivo empotrado en muro, alimentado por medio de un transformador certificado a 18-30 V AC.
Gateway	No ofrece Gateway	No ofrece Gateway	No ofrece Gateway	Dimensiones físicas no especificadas ver tabla de fotografías de oferta	No especificadas, ver tabla de fotografías de oferta
Control de Carga	Dimensiones [Altura; Ancho; Profundidad] (mm): [195.6;145;107]	No ofrece control de carga	Dimensiones [Altura; Ancho; Profundidad] (mm): [114;102;51]	Dimensiones [Altura; Ancho; Profundidad] (mm): [222;165;100]	Dimensiones físicas no especificadas (ver fotografías de oferta)
	Dispositivo robusto para uso en exteriores preferiblemente. La instalación del dispositivo requiere conocimientos técnicos y es similar a la instalación de un breaker		Dispositivo robusto para uso en exteriores preferiblemente. La instalación del dispositivo requiere conocimientos técnicos y es similar a la instalación de un breaker	Dispositivo robusto para uso en exteriores preferiblemente. La instalación del dispositivo requiere conocimientos técnicos y es similar a la instalación de un breaker	Dispositivo robusto para uso en exteriores preferiblemente. La instalación del dispositivo requiere conocimientos técnicos y es similar a la instalación de un breaker

Tabla 4-7. Evaluación de características físicas y facilidades de instalación
























FOTOS DE LAS OFERTAS COMERCIALES				
ENERGYHUB				
				
Hub e Interfaz Usuario	Termostato Inteligente	Tom a y Regleta Inteligente	Control de Carga	
GENERAL ELECTRIC				
				
Interface Usuario	Termostato Inteligente	Tom a Inteligente	Hub	Medidor Inteligente
HAI				
				
Hub e interfaz Usuario	Termostato Inteligente	Tom a Inteligente	Control de carga	
SCHNEIDER ELECTRIC				
				
Hub e Interfaz Usuario	Termostato Inteligente	Tom a Inteligente	Gateway	Control de carga
TENDRIL				
				
Hub e Interfaz Usuario	Termostato Inteligente	Tom a Inteligente	Gateway	Control de carga

Tabla 4-8. Fotografías del diseño de dispositivos en cada una de las ofertas

c. Funcionalidad

Para evaluar la funcionalidad de las ofertas se retoman las funciones a satisfacer definidas en el Capítulo dos, las cuales comprenden los puntos objetivos necesarios para la consecución de ahorro energético y la capacidad de gestión para usuarios residenciales. Las funciones requeridas son:

- Monitorización desagregada y continua de la energía eléctrica por aplicación.
- Retroalimentación al consumo.
- Control manual y remoto de electrodomésticos y aplicaciones.
- Comunicación bidireccional con la empresa electrificadora (tarifa de precios diferencial y respuesta a la demanda)

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

En las Tablas 4-9 a 4-15 se listan los dispositivos y la evaluación correspondiente de las diferentes ofertas comerciales:

Toma inteligente.

1. Características Funcionales Requeridas - Toma Inteligente	EnergyHub	General Electric	HAI	Schneider Electric	Tendril Inc.
Monitoreo y reporte de datos por aplicación vía ZigBee	1	1	1*	1*	1*
Control remoto ON/OFF a través del Hub Central	1	0	1	1	1
Actúa como repetidor en redes ZigBee	1	1	1	1	NE
Soporte a programas de energía inteligente del proveedor de servicio: tarifa diferencial y respuesta a la demanda	1	1	0	1	1
Tensión de trabajo 120V	1	1	1	1	1
Corriente 15 A	1	1	1	1	1
Porcentaje de coincidencia con la especificación de funcionalidad requeridas	100,00%	50,00%	83,33%	100,00%	83,33%

Tabla 4-9. Evaluación funcional de ofertas -Tomas inteligentes.

NE: No especificado en la información técnica del fabricante.

*Notación

Como se observa en Tabla 4-9, las tomas inteligentes de EnergyHub y Schneider Electric presentaron 100% en el nivel de coincidencia con los requerimientos. Sin embargo, la toma inteligente de Schneider al igual que la de HAI y Tendril tiene restricción (*) en el primer ítem, ya que los datos reportados al Hub central no repercuten en la presentación al usuario del consumo desagregado.

Control de carga

2. Características Funcionales Requeridas - Control de Carga	EnergyHub	General Electric	HAI	Schneider Electric	Tendril Inc.
Monitoreo y reporte de datos de cargas de alto consumo vía ZigBee	1	NA	1*	1*	1*
Control remoto ON/OFF a través del Hub Central	1	NA	1	1	1
Capacidades de control por circuito	1	NA	1	1	1
Capacidad de despeje de sobre corrientes	NE	NA	NE	1	0
Soporte a programas de energía inteligente del proveedor de servicio: tarifa diferencial, respuesta a la demanda.	1	NA	0	1	1
Tensión de trabajo 120V	0	NA	1	1	1
Tensión de trabajo 240V	1	NA	1	1	1
Porcentaje de coincidencia con la especificación de funcionalidad requeridas	71,43%	NA	71,43%	100,00%	85,71%

Tabla 4-10. Evaluación funcional de ofertas – Control de Carga.

NA: No Aplica o no esta presente en la oferta.

*Restricción

De acuerdo con lo mostrado en la Tabla 4-10, el control de carga de Schneider Electric obtuvo 100% en nivel de coincidencia con los requerimientos. Sin embargo, el control de carga de Schneider al igual que la de HAI y Tendril tiene restricción en el primer ítem, ya que los datos reportados al Hub central no repercuten en la presentación del consumo desagregado. Aunque el nivel de coincidencia sea del 100%, la restricción en el diseño y características físicas (ver Tabla 4-7) no cumple los requerimientos necesarios para su instalación en interiores e inclusión en la propuesta del hardware de control y monitorización de iluminación por circuito.

Gateway

3. Características Funcionales Requeridas - Gateway	EnergyHub	General Electric	HAI	Schneider Electric	Tendril Inc.
Repotencia la red ZigBee	NA	NA	NA	1	1
Permite un nivel mediano de integración de la red casera en programas de energía inteligente del proveedor de servicios	NA	NA	NA	1	1
Permite interoperabilidad de protocolos ZigBee – WiFi – Ethernet	NA	NA	NA	1	1

Tabla 4-11. Evaluación funcional de ofertas – Gateway.

En la Tabla 4-11 se muestra que la Gateway sólo esta ofertada por dos empresas, Schneider y Tendril. En esas ofertas específicas, la Gateway a través de la función de interoperabilidad entre ZigBee e internet permite establecer el enlace de comunicación bidireccional entre el usuario y la empresa electrificadora.

Termostato Inteligente

4. Características Funcionales Requeridas - Termostato Inteligente	EnergyHub	General Electric	HAI	Schneider Electric	Tendril Inc.
---	------------------	-------------------------	------------	---------------------------	---------------------

Reporta el consumo de energía eléctrica en aires acondicionados al Hub	0	NE	0	0	NE
Alerta de cambios de tarifa del kWh	1	1	1	1	1
Programable semanalmente, 4 eventos diarios	1	1	1	1	1
Programación y control remoto	1	1	1	1	1
Soporte a programas de energía inteligente del proveedor de servicio: tarifa diferencial, respuesta a la demanda y otros servicios contextuales	1	1	0	1	1
Porcentaje de coincidencia con la especificación de funcionalidad requeridas	80,00%	80,00%	60,00%	80,00%	80,00%

Tabla 4-12. Evaluación funcional de ofertas – Termostato Inteligente.

Los resultados de la Tabla 4-12 muestran que todos los termostatos tienen calificaciones similares. A diferencia del termostato de HAI todos integran en su operatividad programas de energía inteligentes del proveedor de servicio.

En la definición de los requerimientos de la interfaz usuario es muy importante que los datos sean presentados de forma adecuada por lo que se otorga un plus en la calificación de los termostatos de General Electric (GE) y EnergyHub.

Panel de visualización y control e Interfaz Web

5. Características Funcionales Requeridas-Panel de visualización y Control (In-Home Display; Interface Web-based/PC based; Móvil App)	EnergyHub	General Electric	HAI	Schneider Electric	Tendril Inc.
Consumo Total de la Energía Eléctrica kWh cercano a tiempo real	1	1	1	1	1
Consumo desagregado de Energía Eléctrica en % del consumo total	1*	1	0	0	0
Visualización del consumo en \$/hr cercano a tiempo real	0	1	1	1	1
Alertas de cambios en tarifa diferencial	1	1	1	1	1
Perfil de carga diario contrastado con costo	0	1	0	0	0
Visualización de datos Históricos	1	1	1	1	1
1 semana	1	1	0	0	0
1 mes	1	1	0	0	0
1 año	1	1	0	0	0
Diseño amigable y agradable a la vista	1	1	0	0*	0*
Soporte a programas de energía inteligente del proveedor de servicio: tarifa diferencial, respuesta a la demanda y otros servicios contextuales	1	1	0	1	1
Retroalimentación al establecimiento de metas de ahorro energético al igual que interacción con consumos de otros usuarios	0	1	0	0	1
Web/PC Software	1	1	0	1	1

Aplicación para dispositivos móviles	1	1	0	1	1
Porcentaje de coincidencia con la especificación de funcionalidad requeridas	78,57%	100,00%	28,57%	50%	57,14%

Tabla 4-13. Evaluación funcional de ofertas – Panel de Visualización y Control e Interfaz Web.

El resultado de la evaluación de las ofertas para la interfaz, mostrada en Tabla 4-13, tiene una ponderación especial ya que es uno de los componentes que más influye en la consecución de ahorro y el cambio de hábitos. La evaluación mostró la interfaz usuario de GE en primer lugar con un nivel destacable de coincidencia del 100%, seguida por EnergyHub con un nivel de 78,57%, aún aceptable para las exigencias del proyecto; las demás interfaces tienen una limitante significativa al no responder a uno de los objetivos principales en retroalimentación al usuario, que es el consumo desagregado por aplicación.

Hub central de control

6. Características Funcionales Requeridas - Hub	EnergyHub	General Electric	HAI	Schneider Electric	Tendril Inc.
Coordina actuadores para monitorización por aplicación	1	1	0	0	0
Coordina actuadores para control remoto por aplicación	1	NE	1	1	1
Almacena datos de consumo por día/semana/año	1	1	0	0	0
Diseño incluyente y sensible a señales externas del proveedor del servicio como: respuesta a la demanda, tarifa diferencial y servicios contextuales	1*	1	0	1*	1*
Adaptable a actualizaciones software e inclusión de futuras funcionalidades de la red Inteligente	NE	1	NE	NE	NE
Porcentaje de coincidencia con la especificación de funcionalidad requeridas	80,00%	80,00%	20,00%	40,00%	40,00%

Tabla 4-14. Evaluación funcional de ofertas – Hub Central de Control.

En las ofertas mostradas en la Tabla 4-14, los Hub con más funcionalidades son EnergyHub y GE, la oferta EnergyHub tiene una notación en el ítem 4 debido a que la comunicación bidireccional no está claramente establecida, por otro lado la oferta GE tiene la limitante de control remoto en su oferta de gestión energética. El resto de ofertas comerciales carecen de dos de las características de retroalimentación al usuario de más interés en la propuesta.

Medidor inteligente.

7. Características Funcionales Requeridas - Medidor Inteligente	EnergyHub	General Electric	HAI	Schneider Electric	Tendril Inc.
Soporta HAN ZigBee	NA	1	NA	NA	NA
Permite la interoperabilidad HAN-AMI	NA	1	NA	NA	NA
Comunicación Bi-direccional	NA	1	NA	NA	NA
Extiende la Red Inteligente al dominio del usuario	NA	1	NA	NA	NA

Registro del perfil de carga	NA	1	NA	NA	NA
Registro de eventos del sistema de potencia y calidad de la energía	NA	1	NA	NA	NA
Servicios de Corte y Desconexión	NA	1	NA	NA	NA
Respuesta a la demanda	NA	1	NA	NA	NA
Facturación Prepago	NA	1	NA	NA	NA
Porcentaje de coincidencia con la especificación de funcionalidad requeridas	0,00%	100,00%	0,00%	0,00%	0,00%

Tabla 4-15. Evaluación funcional de ofertas – Medidor Inteligente.

El medidor inteligente es un componente esencial en la composición AMI. El medidor de energía es el vínculo de comunicación usuario-electrificadora por excelencia y planea seguirlo siendo pero en un nivel superior de información. En el futuro cercano el desarrollo global de las redes inteligentes demandará mayor confiabilidad y robustez en la comunicación bidireccional usuario-electrificadora. Soluciones de ofertas comerciales que tienen la comunicación bidireccional mediante Gateways tienden a quedar obsoletas frente a ofertas que tienen medidores inteligentes con funcionalidades de comunicación bidireccional y confiabilidades superiores. Por estas razones, la oferta que coincide plenamente con las especificaciones de funcionalidad requeridas es la General Electric con medidor inteligente incorporado, diseñado para ser un elemento de diagnóstico del sistema de potencia con transmisión directa de parámetros al operador de red, un vínculo de comunicación bidireccional usuario-electrificadora y de altos estándares de medición de potencia activa, reactiva y parámetros de calidad de la energía.

Ponderación funcionalidad por oferta.

En la Tabla 4-16 se presenta finalmente la calificación global en funcionalidad, la cual es clara en recomendar la oferta de General Electric como la que mejor cumple con los requerimientos funcionales en gestión energética.

Ponderación Global	Toma Inteligente	Control de Carga-iluminación	Interoperabilidad y comunicación bidireccional	Termostato Inteligente	Interfaz Usuario	Hub-Control Central	Medidor Inteligente	Desempeño en %
EnergyHub	100,00%	0,00%	80,00%	80,00%	78,57%	80,00%	0,00%	59,80%
General Electric	83,00%	0,00%	100,00%	80,00%	100,00%	80,00%	100,00%	77,57%
HAI	83,00%	0,00%	0,00%	60,00%	28,57%	20,00%	0,00%	27,37%
Schneider Electric	100,00%	0,00%	75,00%	80,00%	50,00%	40,00%	0,00%	49,29%
Tendril Inc,	83,00%	0,00%	80,00%	80,00%	57,14%	40,00%	0,00%	48,59%

Tabla 4-16 Ponderación global de la funcionalidad de las ofertas comerciales

d. Costo

La evaluación de la relación costo-beneficio nos presentara una limitante que no permite mostrar un resultado concluyente en este aspecto. Ninguna de las ofertas estudiadas a excepción de HAI (ver Tabla 4-17), tiene disponibilidad al público, las propuestas están disponibles a empresas electrificadoras y están siendo implementadas en proyectos pilotos.

Costo Unitario \$ (USD)-Oferta Comercial HAI		
Termostato Inteligente	Omnistat2	\$ 309,50
Panel de visualización y control	81A00-1WHSHP	No Disponible
Toma Inteligente	LCM 89A00-1	\$ 125,00
Control de Carga	LCM 73A00-3	\$ 199,17
Control de Carga	LCM 73A00-4	\$ 180,83

Tabla 4-17. Costo unitario oferta HAI

*El precio unitario es el equivalente al promedio de precios de 6 vendedores en USA, no incluye costo de envío y/o aranceles si aplica.

Se advierte por la comparación de los resultados de funcionalidad entre la oferta HAI y las demás ofertas que el precio de éstas ofertas tendrán un costo por encima del presentado en la Tabla 4-17.

e. 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.

EVALUACIÓN TÉCNICO-COMERCIAL DE OFERTAS					
Tópico/Empresa	EnergyHub	General Electric	HAI	Schneider Electric	Tendril Inc.
Comunicaciones	75.00%	100.00%	50.00%	75.00%	75.00%
Características Físicas	77.00%	89.00%	68.00%	69.00%	70.00%
Funcionalidad	59.80%	77.57%	27.37%	49.29%	48.59%
Costo	NA	NA	NA	NA	NA
Total	70.60%	88.86%	48.46%	64.43%	64.53%

Tabla 4-18 resultados de la valoración técnico-comercial de ofertas.

La Tabla 4-18 es clara en la recomendación del sistema de gestión energética residencial de General Electric (Brillion Technology) como el sistema que mejor responde a los requerimientos del sistema en gestión energética residencial de entre todas las ofertas estudiadas.

4.2.4. Descripción de la oferta recomendada

En definitiva, el proceso de selección recomienda el sistema de gestión energética residencial de General Electric (Brillion Technology) como el sistema que mejor responde a los requerimientos en gestión energética residencial propuestos en el numeral 2.5 con un nivel de satisfacción del 88,86%. La Tabla 4-19 detalla los componentes de la oferta.

Aunque la oferta de General Electric es la oferta recomendada para la implementación de la propuesta de gestión del segundo escenario, es clara la limitación del estudio en el análisis del costo.

En cuanto a la satisfacción de las funcionalidades en gestión energética, ninguna de las ofertas estudiadas integra la monitorización por circuito del componente de iluminación y esta oferta de

General Electric en particular no permite el control remoto ON/OFF de la toma inteligente, sin embargo está en desarrollo para versiones próximas.

Oferta General ELeCtric Brillion Technology	
Medidor Inteligente	Smart Meter I-210+C
HUB central de control	Nucleus Energy Manager
Toma Inteligente	Energy sensor
Interfaz Usuario	GE Energy Display
	Web Based Interface
	Mobil App
Otros	Smart Appliances






GENERAL ELECTRIC				
				
Interface Usuario	Termostato Inteligente	Toma Inteligente	Hub	Medidor Inteligente

Tabla 4-19 Oferta HEMS de General Electric

5. Evaluación del sistema de gestión residencial.

En este capítulo se desarrolla un ejemplo de evaluación del sistema de gestión energética residencial (Brillion Technology de GE). A través de la definición de un usuario tipo estrato 5-6, se plantea un perfil de carga semanal al cual se le implementa el sistema de gestión energética seleccionado. Mediante el contraste del perfil de carga tradicional y el perfil obtenido después de la implementación del sistema de gestión energética, se busca concluir para este escenario específico el impacto del sistema en el ahorro energético, en el ahorro económico y en el achatamiento de la curva de demanda diaria.

5.1. Perfil de carga semanal tradicional para un usuario estrato 5-6.

La construcción del perfil de carga semanal es el resultado de la revisión de dos componentes principales. Se parte del estudio de la oferta inmobiliaria de apartamentos para los estratos 5-6 desarrollado en el Anexo C. Como resultado de la revisión de la oferta inmobiliaria se establece la arquitectura para un apartamento promedio para los estratos 5-6, el cual se dota con electrodomésticos y dispositivos eléctricos; el segundo componente es la definición del usuario tipo, sus actividades y patrones de uso de la energía eléctrica.

Finalmente, el resultado del perfil de carga semanal es la combinación de cuatro perfiles diarios que representan hora a hora los diferentes comportamientos del usuario durante la semana.

5.1.1. Caracterización de los electrodomésticos y dispositivos eléctricos.

La Tabla 5-1 contiene los electrodomésticos y dispositivos eléctricos supuestos para la simulación del perfil de carga, en cada electrodoméstico se describe la potencia eléctrica que consume, su fabricante y modelo comercial.

Aplicación	Equipo	Código	Fabricante	Modelo	Potencia [W]	Unidades por residencial	OBSERVACIONES
Iluminación	Incandescente	IL01	Phillips	E27-A55	72	0	
	CFLs	IL02	Phillips	CDL E27	20	20	
	CFLs Deco-globo	IL03	Phillips	WWE27	18	21	
	Lámpara de noche	IL04	Phillips	Clara	40	5	
Refrigeración	Nevera	RF01	Samsung	French Door 710Lt	552 [kWh/año]	1	
Cocina	Tostadora	CO01	Bodum	565US	980	1	
	Licuadaora	CO02	Oster	6854	450	1	
	Horno Microondas	CO03	Samsung	stena	900	1	
	Batidora	CO04	Oster	2532	250	1	
	Sandwichera	CO05	Oster	3885	600	1	
	Cafetera	CO06	Universal	L65800	550	1	
	Exprimidor Eléctrico	CO07	Samurai	SA106EL8	300	1	

				7			
	Triturador de Basura	CO08	GE	GFC320V	250	1	
Limpieza	Lavadora	LP01	Whirlpool	WTW4800 XQ	470	1	
	Plancha	LP02	--	--	1000	1	
	Aspiradora	LP03	Electrolux	E-706	900	1	
Entretenimiento	TV	EN01	Samsung	LCD 630	90	1	Stand-by 0.1 W
		EN02	Samsung	LCD 450	54	1	Stand-by 0.14 W
		EN03	Samsung	LCD 450	54	1	Stand-by 0.14W
		EN04	Samsung	LN22D450 G1F	43	1	Stand-by 0.56 W
	Teatro en Casa	EN05	Samsung	HT-E5500k	92.2	1	Stand-by 0.45 W
	Consola de Video	EN06	Microsoft	X-Box 360	90	1	
	Computador	EN07	Dell	Vostro 260s	250	1	
	Computador Portátil	EN08	Samsung	QX411	60	2	
	Audio speaker Docking	EN09	Sony	RDP-XA700	30	1	
	Mini-Componente	EN10	LG	--	20	1	1% de stand-by <www.Stanby.ilb.gov>
	Cargador de Ipad	EN11	Apple	--	10	2	5 horas duración de carga
	Cargador de Ipod	EN12	Apple	--	10	2	4 horas duración de carga
	Cargador Teléfonos-Inteligentes (5)	EN13	--	--	10	1	3 horas duración de carga
	Modem	EN14	Cisco	EPC2425	30	1	
	Decodificador TV HD	EN15	Echostar	HDT610R	11	4	Stand-by 1w
Climatización	Aire Acondicionado Multi Split (3)	CL01	LG Mod: LMU247HV	A+B+C	1531	1	
		CL02		B+C	1415		
		CL03		(A o B o C)	1382		

Tabla 5-1 Caracterización de los electrodomésticos para el ejemplo de implementación.

5.1.2. Definición del usuario tipo y patrones de uso.

La definición del usuario tipo se realiza como un ejercicio puramente práctico que busca mostrar la funcionalidad del sistema de gestión y resaltar sus beneficios y resultados en gestión energética en un supuesto escenario de implementación específico.

De las características del usuario tipo se identificaron las listadas a continuación como las de mayor incidencia en la determinación del consumo de energía eléctrica.

- Habitantes del apartamento: 5, Una familia de 4 personas, padre, madre y dos hijos, más la persona encargada de los oficios de la casa.
- Características personales de los habitantes: características como la profesión y la edad se pueden inferir algunos comportamientos que posteriormente ayudaran a la creación del perfil de carga.

Integrantes	Profesión	Edad
Padre	Profesional	45 años
Madre	Profesional	43 años
Hijo 1	Estudiante	10 años

Hijo 2	Estudiante	14 años
Persona del servicio	Servicio	40 años

Tabla 5-2 Características personales de los habitantes

- Tiempo en casa: El tiempo que los habitantes pasan en el apartamento se especifica por integrante en la Tabla 5-3.

Tiempo en Casa	Horas en Casa		
	Integrantes	Lunes a Viernes	Sábados
Padre	7:00 pm a 7:30 am; 12:30 pm a 1:30 pm	10:00 pm a 8:30am ; 12:00 m a 6:00 pm	7:00 pm a 8:30am
Madre	7:00 pm a 7:30 am; 12:30 pm a 1:30 pm	10:00 pm a 6:00 pm	7:00 pm a 8:30am
Hijo 1	4:30 pm a 6:30 am;	11:00 pm a 8:00 am ; 12:00 m a 6:00 pm	7:00 pm a 8:30am
Hijo 2	4:30 pm a 6:30 am;	11:00 pm a 8:00 am ; 12:00 m a 6:00 pm	7:00 pm a 8:30am
Persona del servicio	Todo el día	hasta 11:00 am	No esta en casa

Tabla 5-3 Tiempo que los habitantes pasan en el apartamento

Basados en estas generalidades se estableció un patrón de uso por electrodoméstico para las 24 horas del día. En el Anexo F se presenta en más detalle la utilización diaria de los electrodomésticos.

5.1.3. Perfil de carga semanal

El perfil de carga semanal está conformado por la combinación de cuatro perfiles de carga diarios. Los perfiles de carga son: perfil normal, perfil lavado y planchado, perfil sábado y perfil domingo, la suma de 3 veces el perfil normal, más dos veces el perfil lavado y planchado, más el perfil sábado y domingo conforman el perfil de carga semanal.

Tener un perfil de carga semanal permite incluir todas las actividades y patrones de consumo del usuario en una semana, brindando así una mejor ejemplificación de las características de consumo del usuario. En la Figura 5.1 se presenta el perfil de carga semanal tradicional, como resultado de la suma hora a hora de los perfiles de carga diarios, según lo expuesto en el Anexo F.

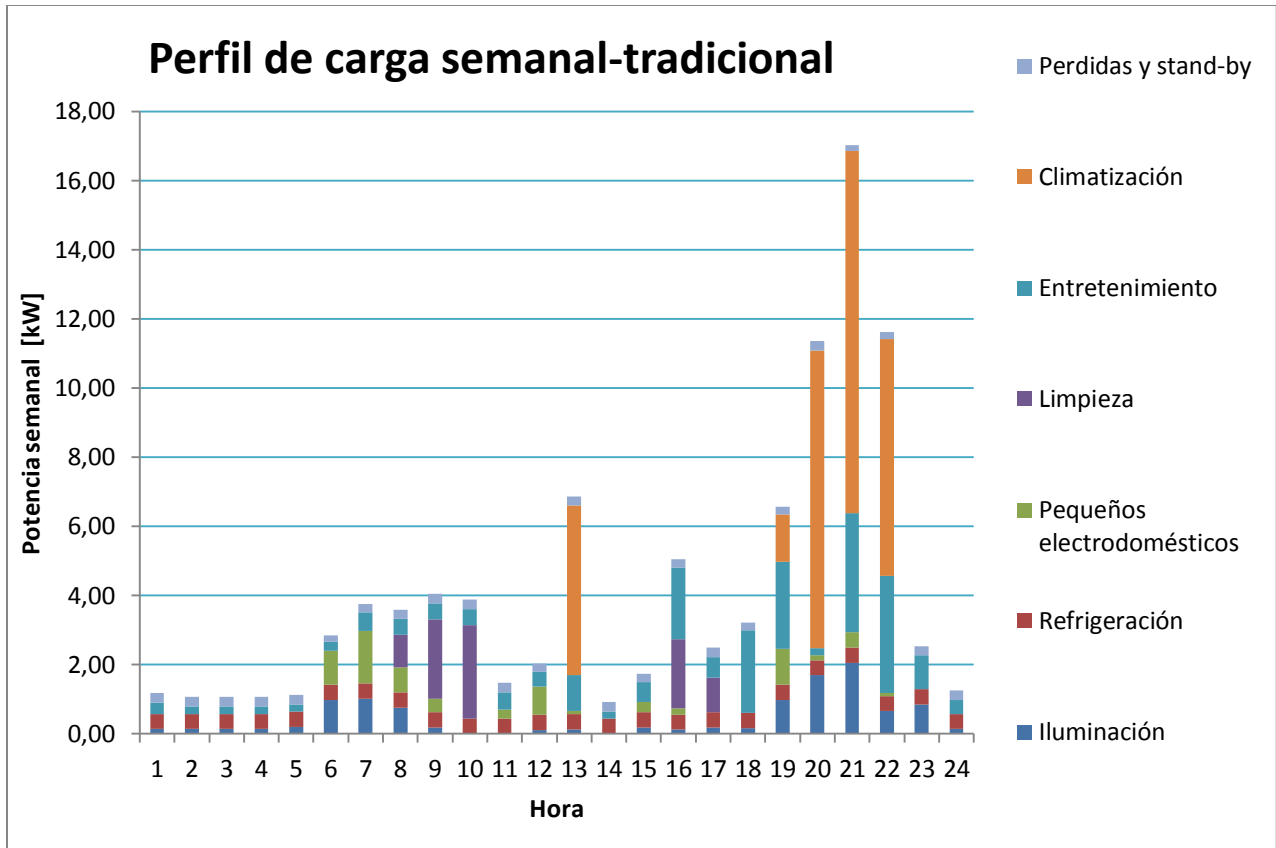


Figura 5.1 Perfil de carga semanal [Autores].

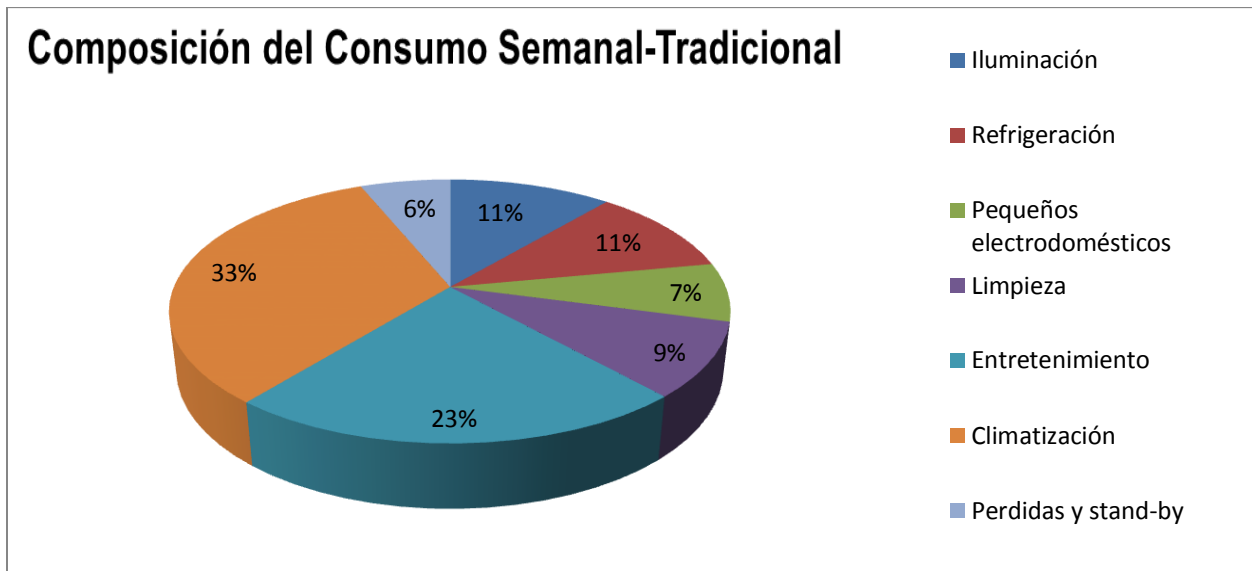


Figura 5.2 Composición porcentual por aplicación del consumo de energía eléctrica semanal [Autores].

La Figura 5.2 muestra la composición porcentual del consumo semanal. Comparando esta figura con la del consumo de energía mensual para el estrato 6 obtenida del estudio de la UPME para la ciudad de Medellín en el año 2006, citada en el Anexo B. Sin embargo existen

varias condiciones diferentes entre el estudio y este ejercicio que impiden una comparación precisa de las gráficas.

Entre las diferencias destacables se encuentra la presencia de aire acondicionado, la disminución notable del componente refrigeración e iluminación y el aumento del consumo en entretenimiento. Estas diferencias no quitan validez al ejercicio y pueden ser explicadas fácilmente, por ejemplo: la diferencia de temperatura ambiente entre Medellín y Bucaramanga y el aumento de la misma de 2006 a 2012 resulta fácilmente en el estrato 5 o 6 en la instalación de un equipo de aire acondicionado; la revolución de las comunicaciones y dispositivos digitales de audio y video ha repercutido notablemente en el aumento del número de dispositivos usados para entretenimiento. Por otro lado la evolución en tecnologías de eficiencia energética causa disminución en el consumo de componentes como iluminación y refrigeración.

5.2. Definición de la funcionalidad del sistema.

La descripción de la funcionalidad del sistema de gestión energética residencial de General Electric, Brillion Technology trae a colación las funcionalidades requeridas, definidas en la topología propuesta y hace notar la coincidencia con las mismas.

Para cada funcionalidad listada se describe brevemente como el sistema de gestión opera y se establece el componente de gestión respectivo, el cual se convierte en una herramienta de gestión que permitirá ejecutar una acción de gestión energética posteriormente en la aplicación del sistema de gestión de GE al usuario tipo. La Tabla 5-4 resume las funciones de gestión de este sistema.

Funciones	Como Brillion lo hace	Herramientas de Gestión
Consumo desagregado en tiempo casi real	Brillion HEMS tiene tres componentes para rastrear el consumo por aplicación y en % del consumo total: múltiple interfaz usuario, la toma inteligente y electrodomésticos inteligentes; por medio de los tomas y/o electrodomésticos los datos son enviados al Nucleus donde son procesados y presentados en la interfaz	1. Componente de gestión basado en monitorización desagregada del consumo (CGMD)
Retroalimentación al consumo	Brillion HEMS tiene una interfaz usuario múltiple e intuitiva, soportado por un software robusto que permite contraste entre históricos de consumo y valor en pesos en tiempo real	2. Componente de gestión basado retroalimentación usuario (CGRU)
Control remoto ON/OFF	El sistema establece comunicación directa con los electrodomésticos inteligentes y como se mencionó anteriormente, la versión actual de la toma inteligente tiene una limitación de control remoto, sin embargo se prevé la opción ON/OFF remota en la próxima versión de la toma inteligente.	3. Componente de gestión basado en control remoto por aplicación (CGRC)

Comunicación Bidireccional con la electrificadora	Tiene un vínculo constante de comunicación con la electrificadora a través del medidor inteligente, para programas de respuesta a la demanda y la tarifa diferencial y otros programas de Energía inteligente	4. Componente de gestión basado en comunicación bidireccional y programas de energía inteligente. (CGCB)
Gestión automática - Control inteligente embebido	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	5. Componente de gestión basado en control inteligente embebido (CGCI)
Eliminación del Consumo Stand-By	Aunque el sistema puede eliminar el consumo stand-by a través de electrodomésticos y tomas inteligentes, el sistema será complementado con regletas Inteligentes y switches inteligentes para la eliminación del consumo Stand-by	6. Componente de gestión basado en eliminación automática de stand-by (CGSB)

Tabla 5-4 Funciones en gestión del sistema *Brillion Technology* y herramientas de gestión

En la Tabla 5-5 se presenta una descripción detallada de la cantidad de componentes y dispositivos de la oferta al igual que los electrodomésticos que gestiona. Al final de la tabla se presentan unos dispositivos Belkin de eliminación del consumo stand-by que fueron incluidos como complementos al sistema de gestión.

	Compontes	Notas	Zona del APTO	Dispositivos monitorización y control	Cantidad	
Sistema Brillion GE	Medidor inteligente	I-210+C	Exterior		1	
	Hub de control central	GE Nucleus	Sala	Control central	1	
	Interfaz Usuario	Mobil App, Software PC y Energy Display	Energy Display en sala comedor		3	
	Tomas Inteligentes	Energy Sensor (TI1)		Estar de TV	TV46", Teatro en casa, decodificador HD	8
		TI2		Habitación Principal	TV32", DVD, decodificador HD	
		TI3		Habitación Auxiliar 1	Tv32", XBOX360, decodificador HD, Audio Speaker	
		TI4		Cocina	Nevera French Door	
		TI5		Cocina	Horno Microondas	
		TI6		Cocina	Tostadora, licuadora, sandwichera, batidora y exprimidor eléctrico	
		TI7		Zona de ropas	Lavadora	
TI8			Zona de ropas	Plancha		
Termostato Inteligente	Programmable Thermostat	Sala comedor	Aires acondicionados	1		
Electrodomésticos Inteligentes	No implementados			0		
Complemento (Belkin)	Compontes	Notas	Zona del APTO	Dispositivos a los que elimina consumo Stand-By	Cantidad	
	Regletas Inteligentes	RI1	Estar de TV	TV46", Teatro en casa, decodificador HD	3	
		RI2	Habitación Principal	TV32", DVD, decodificador HD		

	RI3	Habitación Auxiliar 1	Tv32", XBOX360, decodificador HD, Audio Speaker	
Switch Inteligente	SW1, SW2	Cocina, Estudio	Cafetera, Computador	2

Tabla 5-5 Descripción del sistema *Brillion Technology* y los complementos.

5.3. Propuesta de tarifa diferencial para el costo del kWh, determinada según hora de uso.

El propósito principal de las tarifas diferenciales es el de comprometer a usuarios a cambiar sus patrones de consumo en una manera tal que disminuya el factor de carga y así reducir el costo de transmisión del kWh en horas pico. Existen diferentes tipos de tarifas variables de energía basados en la hora del día en la que energía es usada (Time of Use, TOU), o en el factor de carga mensual. Sin embargo, la tarifa TOU es la más conveniente para obtener la respuesta deseada en los usuarios y puede implementarse mediante la instalación de medidores inteligentes, capaces de censar y transmitir datos para la facturación del consumo de energía eléctrica con etiquetas de identificación de la tarifa TOU en la cual se esta facturando.

En orden de mostrar y evaluar los beneficios que brinda tener en el sistema de gestión la infraestructura que soporte una de tarifa TOU, es necesario definir una tarifa diferencial TOU de referencia. En el marco normativo y regulatorio colombiano no existe el concepto de tarifa TOU por lo que la definición se basa en implementación de TOU en otros países.

En la Tabla 5-6 se muestra un ejemplo de tarifa diferencial TOU implementado en la empresa DTE Energy-Detroit, USA.

Hora	Tarifa plana USD \$/ kWh *	Tarifa TOU en USD \$/ kWh
1:00 am -3:00 pm	\$ 0,106	\$ 0,07
3:00 pm -7:00 pm		\$ 0,12
7:00 pm-11:00 pm		\$ 0,70
11:00 pm - 1:00 am		\$ 0,40

Tabla 5-6 Ejemplo de Tarifa diferencial de kWh TOU, DTE Energy-Detroit, USA

*Promedio del precio del kWh en el 2007, USA

En la Tabla 5-6 se tienen cuatro cambios de tarifa del kWh con precios diferentes por encima y por debajo del valor de factura plana, que indican un sobrecosto en horas de alta demanda y descuentos en horas valle. Basados en estas ideas y en las características propias de la curva de demanda diaria obtenida, se propone la tarifa diferencial mostrada en la Tabla 5-7 con cuatro precios diferentes del kWh. La Figura 5.3 muestra la discriminación horaria de la tarifa propuesta en este trabajo.

Hora	Tarifa plana COP \$/ kWh *	Descuento o recargo sobre el precio plano en %	Tarifa TOU en COP \$/ kWh
6:00 am -9:00 am	\$ 414,00	0%	\$ 414,00

O: otros
 RF: refrigeración
 PE: pequeños electrodomésticos
 ✕ refiere a presencia del componente

L: limpieza
 E: entretenimiento
 ETV: estar de TV

HA: habitación auxiliar
 HP: habitación principal
 HM: horno microondas
 AC: Aire acondicionado

De la Tabla 5-8 se pueden generalizar las siguientes características:

- Todos los componentes que tengan el componente de control ON/OFF podrán ser utilizados en programas de tarifa diferencial y respuesta a la demanda ya que las señales recibidas por el núcleo se transforman en ordenes para los actuadores.
- La iluminación y los demás dispositivos donde no hay monitorización (identificados con la letra O) serán caracterizados para la monitorización del consumo desagregado y la retroalimentación, en una categoría que resulta de la diferencia de la energía total censada por el medidor inteligente y las sub-mediciones parciales censadas por las tomas inteligentes. En la Tabla 5-9 se especifica en más detalle el nivel de retroalimentación que tendrá el usuario.

Nivel de retroalimentación del usuario		
Aplicación	Sub-división	Electrodomésticos ¹¹
Refrigeración	RF	RF01
Pequeños electrodomésticos	PE	CO01,CO02,CO04-CO7
	HM	CO03
Limpieza	LP	LP01-LP03
Entretenimiento	ETV	EN01,EN06,EN05
	HA	EN07,EN10,EN05
	HP	EN02,EN05
Climatización	AC	CL01-CL03
OTROS	O	IL01-IL04, CO08, EN08, EN04, EN09,EN011-EN15

Tabla 5-9 Nivel de retroalimentación de usuario que permite el sistema *Brillion Technology* más complementos.

5.4.2. Ejecución del sistema de gestión

La ejecución del sistema de gestión se basa en cuatro acciones particulares, que son establecidas como el alcance en gestión de la topología propuesta. En cada acción se especifican los componentes funcionales del sistema involucrados, el procedimiento y las aclaraciones respectivas.

En cuanto al procedimiento de implementación de las acciones se siguió la misma metodología de construcción del perfil de carga. La ejecución del perfil de carga afectado por la

¹¹ Los siglas corresponden a los códigos de los electrodomésticos (ver Tabla 5-1)

implementación del HEMS se realiza para cada uno de las aplicaciones en los cuatro diferentes perfiles, como se muestra en la Tabla 5-10.

Acciones	Componentes funcionales involucrados ¹²	Procedimiento	Aclaraciones
1. Identificación del consumo perdido	CGMD, CGRU	La identificación y eliminación del consumo perdido se realiza hora a hora y por componente en la forma más desagregada posible	En la identificación de las cargas se supone la participación activa del usuario y el uso constante de las herramientas de información que ofrece el sistema.
2.Reducción de cargas innecesarias en horas pico	CGMD, CGRU , CGRC	La reducción de carga en horas pico se basa principalmente en los componentes: iluminación, Entretenimiento y climatización	La reducción más significativa es la del componente climatización para la cual se sugiere como retroalimentación usuario el establecimiento de las temperaturas 22 y 20°C para mediodía y noche respectivamente.
3.Migración de carga en horas pico a horas valle	CGCB, CGRU	Los electrodomésticos para los cuales se encontró posible la migración de carga a horas valle, fueron la lavadora y los cargadores del ipad, ipod y celulares.	--
4.Eliminación de consumo Stand-by	CGRU, CGRC	La eliminación del consumo se logra para todos los electrodomésticos, excepto para el Minicomponente	EL componente físico encargado de la eliminación del consumo stand-by son las regletas y dispositivos Belkin añadidos como complemento a la topología de GE

Tabla 5-10 Metodología de ejecución de acciones de gestión sobre el usuario tipo

5.4.3. Perfil de carga afectado por el sistema de gestión

Finalmente la Figura 5.4 muestra la combinación del perfil de carga semanal después de la aplicación del sistema de gestión energética residencial (HEMS), al igual que en la construcción del perfil de carga semanal tradicional, éste es el resultado de la gestión energética individual y horaria aplicada a cada uno de los cuatro perfiles que conforman la semana (Ver Anexo F).

Por otra parte la Figura 5.5 muestra la composición porcentual del consumo semanal por aplicaciones una vez implementado el sistema de gestión energética (HEMS).

¹² Estas siglas corresponden a las herramientas de gestión expuestas en la Tabla 5-4.

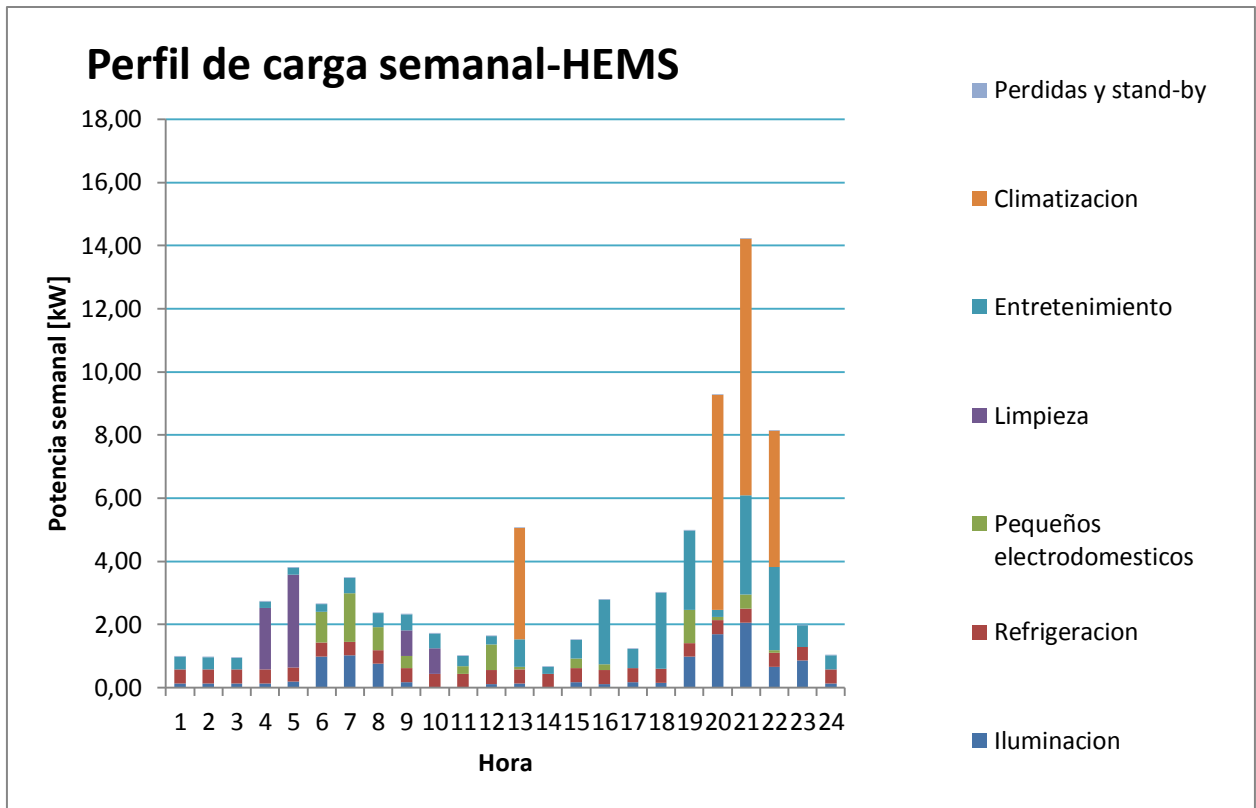


Figura 5.4 Perfil de carga semanal después de la implementación del HEMS [Autores].

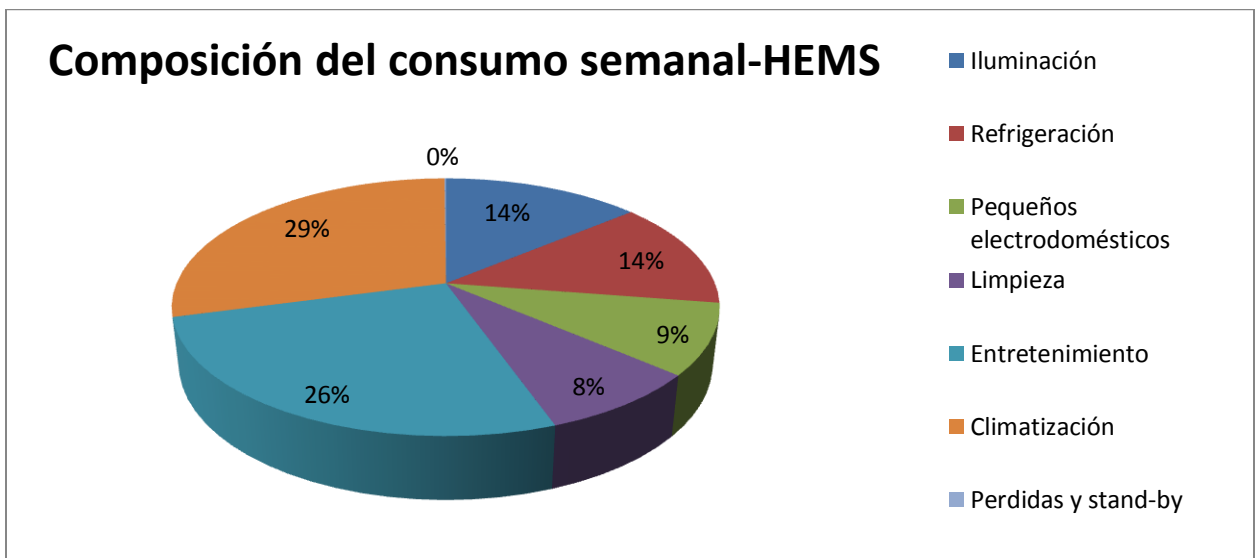


Figura 5.5 Composición del porcentaje del consumo por aplicación después de la implementación del HEMS [Autores].

5.4.4. Contraste entre el perfil de carga antes y después de la implementación del HEMS.

El contraste entre el perfil de carga tradicional y el perfil de carga después de la implementación del sistema de gestión, busca resaltar los beneficios de su implementación en tres aspectos: disminución del consumo de energía en kWh, achatamiento de la curva de demanda y ahorro económico.

a. Disminución del consumo de energía en kWh.

La disminución del consumo total es de 22,34 kWh/Semana. La disminución porcentual por aplicación se muestra en la Tabla 5-11 y en la Figura 5.6, donde además se contrasta con el nivel de participación de usuario requerido para lograr la disminución.

Contraste por aplicación	Iluminación	Refrigeración	Pequeños electrodomésticos	Limpieza	Entretenimiento	Climatización	Perdidas y stand-by	Total semanal
Perfil semanal tradicional kWh/semana	14,00	10,58	7,01	8,93	22,05	32,22	6,05	100,847
Perfil semanal con HEMS kWh/semana	10,95	10,58	6,96	6,50	20,62	22,81	0,08	78,499
Reducción del Consumo en kWh/Semana	3,05	0,00	0,06	2,43	1,43	9,41	5,97	22,348
Porcentaje de disminución	22%	0%	1%	27%	7%	29%	99%	22%

Tabla 5-11 Contraste entre los dos perfiles de carga semanales por aplicación

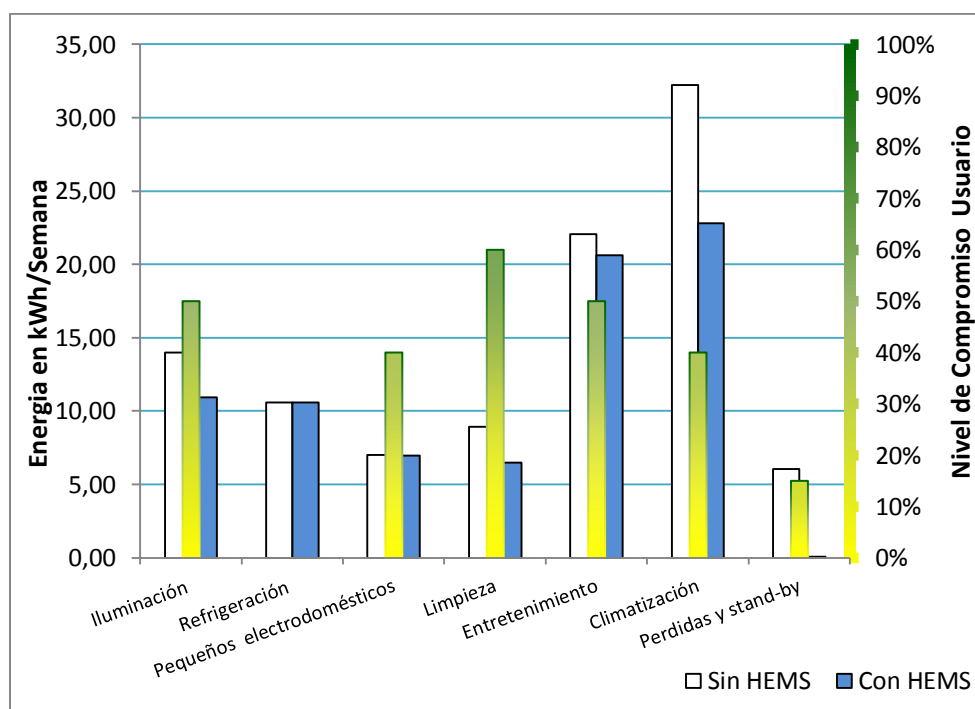


Figura 5.6 Contraste entre los dos perfiles semanales contrastados con el nivel de compromiso usuario [Autores].

La Tabla 5-11 y la Figura 5.6 representa el contraste entre el perfil de carga semanal del usuario tipo sin ningún sistema de gestión residencial tradicional y el mismo perfil de carga después de la implementación del sistema de gestión.

Resalta como resultado una reducción total del consumo de 22,34 kWh/semana, equivalente a una disminución del 22% semanal de energía consumida. En el contraste del resultado con estudios similares de proyectos pilotos como el desarrollado en Osaka, Japón “*Effectiveness of displaying energy consumption data in residential houses analysis on how the residents respond*” citado en los capítulos 1 y 2, donde sólo mediante retroalimentación diaria vía correo electrónico y monitorización desagregada, se lograron reducciones hasta del 20% de la energía consumida. En una apreciación en perspectiva del sistema implementado GE Brillion tiene mejores herramientas de gestión energética por lo que ahorros inclusive superiores al 22% son bastante posibles, sin embargo otro componente importante son los patrones culturales de los usuarios que pueden aumentar y disminuir el ahorro energético.

Una característica importante de la Figura 5.6 es el contraste de los ahorros energéticos logrados con el nivel de compromiso del usuario que se estima para la consecución del ahorro. De esta forma los ahorros obtenidos son clasificados como muestra la Tabla 5-12:

Categorización de los ahorros energéticos	Aplicación gestionada	Ahorro en kWh/Semana
Muy fácilmente asequibles	Stand-by	5,97
Fácilmente asequibles	Climatización, pequeños electrodomésticos	9,47
Medianamente asequibles	Iluminación, entretenimiento, y limpieza	6,91

Tabla 5-12 Categorización de los ahorros energéticos.

El nivel de compromiso del usuario se establece según las características de la implementación de la acción de gestión, no tiene en cuenta estadísticas ni medición de patrones culturales, por tanto no se consideran ahorros superiores que impliquen un mayor compromiso de los usuarios y una medición más precisa de sus patrones culturales.

b. Achatamiento de la curva de demanda

El achatamiento de la curva de demanda es de gran interés para el sistema de potencia en general y se logra a través de la implementación de un escenario de tarifa diferencial que incentive a los usuarios a la migración en el tiempo de la utilización de equipos eléctricos. En la Tabla 5-13 se muestran los consumos semanales sumados según los intervalos de la tarifa diferencial.

HORA	Consumo en kWh/semana	
	Sin HEMS	Con HEMS
12:00 pm - 6:00 am	6,769	10,471
6:00 am -9:00 am	10,999	8,506
9:00 am -11:00 am	7,977	4,036
11:00 am-2:00 pm	10,858	7,708
2:00 pm - 8:00 pm	20,753	14,159
8:00 pm - 12:00 pm	43,488	33,617

Tabla 5-13 Consumo de potencia por periodos de tarifa diferencial.

De la Tabla 5-13 se calcula el total de kWh reducidos en horas pico:

- Periodo de 8:00 pm - 12:00 pm con una reducción de 9,87 kWh/ semanales
- Pico de las 9:00 pm , reducción de 3 kWh/semanales
- Periodo de 11:00 am-2:00 pm, reducción de 3,14 kWh/semanales
- Pico de la 1:00 pm, reducción de 2,08 kWh/semanales

El total de kWh migrados a las horas valle es de 5,65 kWh/semana correspondientes al componente limpieza y cargadores de dispositivos móviles.

c. Ahorro económico

Hay dos componentes que contribuyen al ahorro económico: el primero es la disminución del consumo total, y el segundo es la implementación de tarifa diferencial TOU.

HORA	Consumo en kWh/semana	Tarifa TOU en COP \$/kWh
	Con HEMS	
12:00 pm - 6:00 am	10,4712	\$ 207,00
6:00 am -9:00 am	8,5062	\$ 414,00
9:00 am -11:00 am	4,036	\$ 289,80
11:00 am-2:00 pm	7,7087	\$ 414,00
2:00 pm - 8:00 pm	14,1593	\$ 289,80
8:00 pm - 12:00 pm	33,6172	\$ 496,80
	Costo semanal COP \$	\$ 30.854,53

Tabla 5-14 Costo de la Energía Semanal-Tarifa Diferencial TOU.

En la Tabla 5-14 se calcula el costo semanal de la energía consumida en COP \$ aplicando la tarifa diferencial del numeral 5.3, resultando en costo semanal de \$ 30.854 pesos frente a \$41.750 pesos del consumo sin sistema de gestión y sin tarifa diferencial. En definitiva el usuario ahorraría \$ 10.896 pesos semanalmente, unos \$ 43.584 pesos mensuales asumiendo las cuatro semanas iguales.

6. Conclusiones y recomendaciones

En este capítulo se presentan las principales conclusiones y recomendaciones de este trabajo de grado y se exponen algunas ideas y consideraciones para futuros trabajos en esta área.

6.1. Conclusiones

- La revisión bibliográfica permitió establecer que los sistemas de gestión energética residenciales (HEMS) son el eslabón final de las redes inteligentes, sin embargo no el menos importante. Al igual que los demás componentes de la red inteligente, los HEMS son soportados por tecnologías de comunicación e información; muchas de las cuales se encuentran en proceso de afinación e integración, especialmente a las características de confiabilidad, flexibilidad y envergadura de la infraestructura de medición de avanzada (AMI).
En Colombia aún no existe el contexto legal, normativo y tecnológico para la migración de los sistemas eléctricos actuales a sistemas eléctricos basados en redes inteligentes. No obstante, de acuerdo a lo expuesto en este trabajo de grado, la gestión energética residencial individual puede ser una realidad soportada en tecnologías de uso cotidiano, lo cual es una posible solución para la racionalización de los consumos energéticos, que aunque es una solución preliminar con restricciones en funcionalidades de gestión, es fácilmente adaptable a desarrollos futuros que complementen el vasto potencial de ahorro energético y el mejoramiento de los hábitos de consumo de energía eléctrica, una vez se logren los cambios e inversiones que permitan la actualización de los sistemas eléctricos actuales hacia la operación completa bajo criterios de redes inteligentes.
- El marco de referencia normativo y reglamentario de Colombia ha evolucionado de manera importante para establecer las leyes y decretos reglamentarios relacionados con la gestión energética. La ley 697 URE constituye un paso importante en el logro de este propósito y el marco normativo por medio de la ISO 50001 establece los lineamientos para lograr la gestión energética de los sistemas eléctricos, pero adicionalmente se requieren políticas que complementen y definan los lineamientos y los escenarios de referencia para incentivar directamente las inversiones que supone la implementación de los sistemas de gestión energética residencial basados en las redes inteligentes.
- En el desarrollo de este trabajo de grado se logró proponer dos alternativas de gestión energética residencial. La primera, con amplio potencial de implementación en usuarios residenciales a partir del estrato 3, está basada en la sub-medición por circuito ramal y la distribución estratégica de los circuitos ramales y la segunda, de fácil incorporación en estratos 5 y 6, basada en la gestión por aplicación y el soporte de medidores

inteligentes. Aún cuando existen alternativas adicionales relacionadas a la gestión energética de los sistemas eléctricos domésticos, las dos alternativas caracterizadas permiten acomodar la mayor parte de los usuarios del segmento residencial de acuerdo a criterios como la facilidad de la instalación de equipos adicionales, costos de inversión y facilidad de integración con sistemas eléctricos de distribución basados en redes inteligentes.

- El Capítulo quinto ejemplifica a un usuario residencial típico con un sistema de gestión energética residencial. De acuerdo al análisis efectuado según la caracterización de las cargas de uso final y según los perfiles de la demanda, se cuantificó un potencial de ahorro energético de 22,34 kWh por semana, equivalentes a una disminución del consumo del 22%. Sin embargo, dadas las características de esta proyección y la incertidumbre que supone la pluralidad y naturaleza de las variables involucradas en la gestión individual de la demanda, se advierte la restricción de suponer que éste sea un resultado escalable dado que es posible obtener ahorros inferiores o superiores que dependen en gran medida de los hábitos de consumo y los patrones culturales del usuario final.
- El ejercicio de simulación planteado en el Capítulo quinto, se basó en un escenario de tarifa diferencial TOU de kWh basado en la comunicación bidireccional con el operador de la red. Aún cuando esta no es una alternativa disponible en el país, su consideración en este ejercicio permitió cuantificar una migración de carga de 5,65 kWh/semana, que desde una panorámica global tendría un impacto bastante significativo en la curva de la demanda del segmento residencial del sistema eléctrico nacional
- El valor económico asociado al potencial de reducción del consumo de energía eléctrica para el usuario tipo analizado en el capítulo quinto es de \$10.896 pesos semanales. Asumiendo que durante las cuatro semanas del mes los consumos son bastante equivalentes el valor económico es aproximadamente \$43.584 pesos mensuales. Esta cifra puede ser bastante significativa en escenarios de largo plazo y justifica la amortización de las inversiones que supone la adopción de tecnologías y servicios en el enfoque de las redes inteligentes domésticas. Sin embargo se advierte que el beneficio económico está directamente relacionado a la gestión individual de los usuarios finales y dependen de la manera como éstos respondan a la retroalimentación y a las acciones del sistema de gestión.
- El potencial máximo de la reducción del consumo energético de una instalación de uso doméstico se obtiene de la suma de pequeños aportes individuales derivados de la dinámica de las acciones automáticas e individualizadas. Aún cuando el componente tecnológico es esencial, quizás no es el más importante. Es ese sentido la justificación de las inversiones y las acciones relacionadas a la administración, operación y mantenimiento de la infraestructura adicional, así como la adopción de nuevos esquemas culturales se cubre siempre que la cultura de ahorro y optimización de los recursos se mantenga como una política estratégica de todos los agentes del sistema.

6.2. Recomendaciones

Los autores consideran oportuno explicitar un par de recomendaciones.

- En el desarrollo de la topología de gestión energética residencial basada en sub-medición por circuito se incluyó como parte del componente de hardware de la instalación eléctrica, el uso del prototipo de sub-medidor inteligente que actualmente se encuentra en proceso de desarrollo por parte del grupo GISEL de la E3T. Este dispositivo tiene gran potencial para aplicaciones de gestión energética de sistemas residenciales o industriales. Adicionalmente para la aplicación específica se recomienda mantener el esquema de control y protección de los tableros y circuitos ramales de acuerdo a lo establecido en el reglamento técnico vigente RETIE.
- Aunque existen sistemas de gestión energética residencial con funcionalidades de comunicación bidireccional que operan sin la existencia de un medidor inteligente, en este proyecto se incluyó el medidor inteligente como un componente fundamental tanto en el sistema de gestión residencial como en la infraestructura de medición avanzada (AMI). Esta característica facilita la integración del usuario a la red inteligente de distribución, dado que los medidores inteligentes (AMI) permiten una interacción más confiable y segura entre el usuario y el operador de red, al igual que garantizan la confiabilidad y flexibilidad de una red inteligente.

6.3. Trabajos futuros

En el proceso del trabajo realizado, se identificaron proyectos futuros que podrían dar continuidad a la investigación en gestión energética residencial y complementar los demás proyectos en desarrollo. Un listado de los posibles trabajos futuros es el siguiente:

- La determinación de las características de los electrodomésticos y dispositivos eléctricos de uso final y patrones de uso para los usuarios locales.
- Estudio de la disponibilidad de los usuarios locales a la adquisición de sistemas de gestión energética residencial.
- Estudio de la viabilidad para la implementación de un escenario de tarifa diferencial para el entorno colombiano o local.
- El desarrollo de hardware y software que complementen al sub-medidor inteligente y que permita el posicionamiento de estas iniciativas en conjunto como un sistema de gestión residencial.
- El estudio de las implicaciones técnicas y procedimentales de la importación de tecnología de punta en gestión energética residencial.
- La implementación de sistemas de gestión en proyectos pilotos que permitan obtener resultados concluyentes y escalables de patrones culturales de los usuarios residenciales locales, así como su respuesta a los sistemas de gestión residenciales.

Anexos

A. Legislación URE e ISO 50001

A continuación se presenta la descripción de la legislación revisada en políticas URE, eficiencia energética y sistemas de gestión energética.

Descripción	Ubicación	Descripción	Ubicación	Descripción	Ubicación
Ley 142 de 1994	Tabla A-2	Decreto 3683 de 2003	Tabla A-5	PROURE	Figura A.1
Ley 143 de 1994	Tabla A-2	Resolución 180919 de 2010	Tabla A-6	Plan de acción indicativo PROURE	Figura A.2
Ley 697 de 2001	Tabla A-3	Decreto 3450 de 2008.	Tabla A-6	ISO 50001	Figura A.3
Resolución 180609 de 2006	Tabla A-4	Decreto 2501 de 2007	Tabla A-6	Código de medida	Figura A.4

Tabla A-1 Tabla de Navegación.

NOMBRE	DECRETADA POR	DESCRIPCIÓN GENERAL	ARTÍCULOS RELACIONADOS CON LA TEMÁTICA
LEY 142 11 de Julio de 1994	Decretada por El Congreso de Colombia.	Por la cual se establece el Régimen de los Servicios Públicos Domiciliarios y se dictan otras disposiciones.	<p>Artículo 1°. Ámbito de aplicación de la Ley. Esta Ley se aplica a los servicios públicos domiciliarios de acueducto, alcantarillado, aseo, energía eléctrica, distribución de gas combustible, telefonía [fija] pública básica conmutada y la telefonía local móvil en el sector rural.</p> <p>Artículo 11°. Función social de la propiedad en las entidades prestadoras de servicios públicos. Informar a los usuarios acerca de la manera de utilizar con eficiencia y seguridad el servicio público respectivo.</p> <p>Artículo 144°. De los medidores individuales. Los contratos uniformes pueden exigir que los suscriptores o usuarios adquieran, instalen, mantengan y reparen los instrumentos necesarios para medir sus consumos. No será obligación del suscriptor o usuario cerciorarse de que los medidores funcionen en forma adecuada; pero sí será obligación suya hacerlos reparar o reemplazarlos, a satisfacción de la empresa, cuando se establezca que el funcionamiento no permite determinar en forma adecuada los consumos, o cuando el desarrollo tecnológico ponga a su disposición instrumentos de medida más precisos.</p> <p>Artículo 148°. Requisitos de las facturas. Los requisitos formales de las facturas serán los que determinen las condiciones uniformes del contrato, pero contendrán, como mínimo, información suficiente para que el suscriptor o usuario pueda establecer con facilidad si la empresa se ciñó a la Ley y al contrato al elaborarlas, cómo se determinaron y valoraron sus consumos, cómo se comparan éstos y su precio con los de períodos anteriores, y el plazo y modo en el que debe hacerse el pago.</p>
LEY 143 11 de Julio de 1994	Decretada por El Congreso de Colombia.	Por la cual se establece el régimen para la generación, interconexión, transmisión,	<p>Artículo 4°. El Estado, en relación con el servicio de electricidad tendrá los siguientes objetivos en el cumplimiento de sus funciones:</p> <p>a) Abastecer la demanda de electricidad de la comunidad bajo criterios económicos y de viabilidad financiera, asegurando su cubrimiento en un marco de uso racional y eficiente de los diferentes recursos energéticos del país.</p> <p>b) Asegurar una operación eficiente, segura y confiable en las actividades del sector.</p>

		distribución y comercialización de electricidad en el territorio nacional.	c) Mantener y operar sus instalaciones preservando la integridad de las personas, de los bienes y del medio ambiente y manteniendo los niveles de calidad y seguridad establecidos. Artículo 66°. El ahorro de la energía, así como su conservación y uso eficiente, es uno de los objetivos prioritarios en el desarrollo de las actividades del sector eléctrico.
--	--	--	---

Tabla A-2 Leyes 142 y 143 de 1994.

NOMBRE	DECRETADA POR	DESCRIPCIÓN GENERAL	ARTÍCULOS RELACIONADOS CON LA TEMÁTICA
LEY 697 03 de Octubre de 2001	Decretada por El Congreso de Colombia. Entidad responsable de la ley: El Ministerio de Minas y Energía.	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.	Artículo 1°. Declarase el Uso Racional y Eficiente de la Energía (URE) como un asunto de interés social, público y de conveniencia nacional, fundamental para asegurar el abastecimiento energético pleno y oportuno, la competitividad de la economía colombiana, la protección al consumidor y la promoción del uso de energías no convencionales de manera sostenible con el medio ambiente y los recursos naturales. Artículo 2°. El Estado debe establecer las normas e infraestructura necesarias para el cabal cumplimiento de la presente ley, creando la estructura legal, técnica, económica y financiera necesaria para lograr el desarrollo de proyectos concretos, URE, a corto, mediano y largo plazo, económica y ambientalmente viables asegurando el desarrollo sostenible, al tiempo que generen la conciencia URE y el conocimiento y utilización de formas alternativas de energía. Artículo 4°. Objetivo. Promover y asesorar los proyectos URE, presentados por personas naturales o jurídicas de derecho público o privado, de acuerdo con los lineamientos del programa de Uso Racional y Eficiente de la Energía y demás formas de energía no convencionales (PROURE), estudiando la viabilidad económica, financiera, tecnológica y ambiental. Artículo 5°. Creación de PROURE. Créase el Programa de Uso Racional y eficiente de la energía y demás formas de energía no convencionales "PROURE", que diseñará el Ministerio de Minas y Energía, cuyo objeto es aplicar gradualmente programas para que toda la cadena energética, esté cumpliendo permanentemente con los niveles mínimos de eficiencia energética y sin perjuicio de lo dispuesto en la normatividad vigente sobre medio ambiente y los recursos naturales renovables. Artículo 10°. El Gobierno Nacional a través de los programas que se diseñen, incentivará y promoverá a las empresas que importen o produzcan piezas, calentadores, paneles solares, generadores de biogás, motores eólicos, y/o cualquier otra tecnología o producto que use como fuente total o parcial las energías no convencionales, ya sea con destino a la venta directa al público o a la producción de otros implementos, orientados en forma específica a proyectos en el campo URE, de acuerdo a las normas legales vigentes.

Tabla A-3 Ley 697 de 2001 "Ley URE".

NOMBRE	DECRETADA POR	DESCRIPCIÓN GENERAL	ARTÍCULOS RELACIONADOS CON LA TEMÁTICA
RESOLUCIÓN 180609 26 de Mayo de 2006	Entidad responsable de la Resolución: El Ministerio de Minas y Energía.	Por la cual se definen los subprogramas que hacen parte del programa de Uso Racional y Eficiente de la Energía y demás formas de energía no convencionales, PROURE, y se	Artículo 1°. Definir como subprogramas que hacen parte integral de Programa de Uso Racional y Eficiente de la Energía y demás formas de energía no convencionales, PROURE los siguientes: 1) Cultura, Investigación y promoción del URE y análisis prospectivo de nuevas tecnologías de transformación energética relacionadas con el mismo. 2) Fomento y desarrollo de proyectos con fuentes energéticas no convencionales y de eficiencia energética, incluidos los proyectos de energías limpias o renovables con prioridad en las zonas no interconectadas. 3) Edificaciones arquitectónicas y equipamiento asociado para el URE. 4) Control de pérdidas de energía. 5) Cambio Climático e iniciativas de mercado de metano y secuestro y captura de carbono. 6) Estímulos e incentivos a tecnologías, productos y proyectos URE o al uso

	adoptan otras disposiciones.	total o parcial de energías no convencionales. 7) Proyectos o actividades de producción más limpia y de ahorro y de eficiencia energética, que requieran equipos, elementos y maquinaria destinados a la reducción en el consumo de energía y/o eficiencia energética. 8) Fomento del URE en los sectores oficial, comercial, transporte, residencial (incluido vivienda de interés social), industrial (Medianas y Pequeñas Empresas MYPIMES y Empresas de Servicios Energéticos). 9) Sustitución de combustibles tradicionales por otros combustibles potencialmente más limpios y específicamente el fomento y utilización de los Biocombustibles. 10) Actualización y/o reconversión tecnológica de equipos industriales en función del URE.
--	------------------------------	--

Tabla A-4 Resolución 180609 de 2006.

NOMBRE	DECRETADA POR	DESCRIPCIÓN GENERAL	ARTÍCULOS RELACIONADOS CON LA TEMÁTICA
DECRETO 3683 19 de Diciembre de 2003	Decretada por El Presidente de la República de Colombia.	Por el cual se reglamenta la Ley 697 de 2001 y se crea una Comisión Intersectorial.	<p>Artículo 1°. OBJETIVO. El objetivo del presente decreto es 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.</p> <p>Artículo 4°. El Ministerio de Minas y Energía, formulará los lineamientos de las políticas y diseñará los instrumentos para el fomento y la promoción de las fuentes no convencionales de energía, con prelación en las zonas no interconectadas; así como la ejecución de proyectos en Eficiencia Energética en Colombia.</p> <p>Artículo 5°. COMISIÓN INTERSECTORIAL. Créase la Comisión Intersectorial para el Uso Racional y Eficiente de la Energía y Fuentes No Convencionales de Energía, 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.</p> <p>Artículo 9°. OBJETO. La Comisión Intersectorial se constituye como una instancia de asesoría, consulta y apoyo del Ministerio de Minas y Energía, en el desarrollo de las siguientes funciones:</p> <p>a) Coordinar las políticas del Uso Racional y Eficiente de Energía y Fuentes no Convencionales de Energía que diseñen cada una de las entidades, en el ámbito de su competencia.</p> <p>b) Impartir orientación superior a las entidades de la rama ejecutiva del poder público, que desarrollen funciones relacionadas con el Uso Racional y Eficiente de Energía y las Fuentes No Convencionales de Energía.</p> <p>c) Impulsar los programas y proyectos sobre Uso Racional y Eficiente de Energía, Cogeneración y Fuentes No Convencionales de Energía.</p> <p>d) Impartir lineamientos específicos para el diseño, implementación y seguimiento del Programa de Uso Racional y Eficiente de Energía y demás Formas de Energía No Convencionales, PROURE.</p> <p>e) Efectuar el seguimiento de las metas, y variables energéticas y económicas que permitan medir el avance en la implementación del Programa de Uso Racional y Eficiente de Energía y demás Formas de Energía No Convencionales, PROURE.</p> <p>Artículo 11°. LINEAMIENTOS GENERALES DEL PROGRAMA DE USO RACIONAL Y EFICIENTE DE ENERGÍA Y DEMÁS FORMAS DE ENERGÍA NO CONVENCIONALES, PROURE. Para el diseño del Programa de Uso Racional y Eficiente de Energía y demás Formas de Energía No Convencionales, PROURE, el Ministerio de Minas y Energía tendrá en cuenta aspectos sociales, ambientales, culturales, informativos, financieros y técnicos, a fin de crear las condiciones del Uso Racional y Eficiente de Energía y Fuentes No Convencionales de Energía, según los siguientes criterios:</p> <p>a) Fomentar la utilización de fuentes energéticas convencionales y no convencionales con criterios de uso racional y eficiente, incluso a través de sistemas de cogeneración.</p> <p>b) Tener en cuenta que el Programa de Uso Racional y Eficiente de Energía y demás Formas de Energía No Convencionales, PROURE, es un elemento contributivo a la competitividad de la economía colombiana.</p> <p>c) Fomentar una cultura nacional de Uso Racional y Eficiente de la Energía y Uso</p>

			<p>de Fuentes No Convencionales de Energía.</p> <p>d) Generar beneficios reales y una adecuada protección a los consumidores y usuarios.</p> <p>e) Fomentar la modernización e incorporación de tecnologías y procesos eficientes en la cadena de suministro y uso de los energéticos.</p>
--	--	--	---

Tabla A-5 Decreto 3683 de 2003.

NOMBRE	DECRETADA POR	DESCRIPCIÓN GENERAL	ARTÍCULOS RELACIONADOS CON LA TEMÁTICA
DECRETO 3450 12 de Septiembre de 2008.	Decretada por El Presidente de la República de Colombia.	Por el cual se dictan medidas tendientes al uso racional y eficiente de la energía eléctrica.	Artículo 1°. Objeto y Campo de Aplicación. En el territorio de la República de Colombia, todos los usuarios del servicio de energía eléctrica sustituirán, conforme a lo dispuesto en el presente decreto, las fuentes de iluminación de baja eficacia lumínica , utilizando las fuentes de iluminación de mayor eficacia lumínica disponibles en el mercado.
DECRETO 2501 04 de Julio de 2007	Decretada por El Presidente de la República de Colombia.	Por medio del cual se dictan disposiciones para promover prácticas con fines de uso racional y eficiente de energía eléctrica.	<p>Artículo 1°. Objetivo y campo de aplicación. Las medidas señaladas en el presente decreto para propiciar el uso racional y eficiente de energía eléctrica se aplicarán, en los siguientes productos y procesos:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. En los productos destinados para el uso final de energía eléctrica, tanto de fabricación nacional como importados, para su comercialización en Colombia, en los siguientes procesos: Iluminación, Refrigeración, Acondicionamiento de aire, Fuerza motriz, Calentamiento de agua para uso doméstico, Calentamiento para cocción. 2. Las edificaciones donde funcionen entidades públicas. 3. Las viviendas de interés social. <p>Artículo 3°. Uso racional y eficiente de energía eléctrica en vivienda de interés social. A partir del tercer año, de la fecha de expedición de este decreto, como requisito para recibir subsidios del Presupuesto Nacional, los constructores de vivienda de interés social y en general aquellas que reciban estos recursos públicos, deberán incorporar en los diseños y en la construcción de la vivienda, aspectos de uso eficiente y racional de energía de conformidad con los parámetros técnicos que para tal efecto establezcan los Ministerios de Minas y Energía, y Ambiente vivienda y Desarrollo Territorial.</p>
RESOLUCIÓN 180919 01 de Junio de 2010	Entidad responsable de la Resolución: El Ministerio de Minas y Energía.	Por la cual se adopta el Plan de Acción Indicativo 2010-2015 para desarrollar el Programa de Uso Racional y Eficiente de la Energía y demás Formas de Energía No Convencionales, PROURE, se definen sus objetivos, subprogramas y se adoptan otras disposiciones al respecto.	<p>Artículo 1°. Adoptar el Plan de Acción Indicativo 2010-2015 para desarrollar el Programa de Uso Racional y Eficiente de la Energía y demás Formas de Energía No Convencionales, PROURE, el cual forma parte integral de la presente resolución.</p> <p>Artículo 2°. Definir como objetivo general del Plan de Acción Indicativo 2010-2015 del PROURE, promover el Uso Racional y Eficiente de la Energía y demás Formas de Energía No Convencionales, que contribuya a asegurar el abastecimiento energético pleno y oportuno, la competitividad de la economía colombiana, la protección al consumidor y la promoción del uso de energías no convencionales de manera sostenible con el ambiente y los recursos naturales.</p> <p>Artículo 3°. Definir como objetivos específicos del Plan de Acción Indicativo 2010- 2015 del Programa de Uso Racional y Eficiente de la Energía y demás Formas de Energía No Convencionales, PROURE, los siguientes:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Consolidar una cultura para el manejo sostenible y eficiente de los recursos naturales a lo largo de la cadena energética. 2. Construir las condiciones económicas, técnicas, regulatorias y de información para impulsar un mercado de bienes y servicios energéticos eficientes en Colombia. 3. Fortalecer las instituciones e impulsar la iniciativa empresarial de carácter privado, mixto o de capital social para el desarrollo de subprogramas y proyectos que hacen parte del PROURE. 4. Facilitar la aplicación de las normas relacionadas con incentivos, incluyendo los tributarios, que permitan impulsar el desarrollo de subprogramas y proyectos que hacen parte del PROURE. <p>Artículo 4°. Definir los siguientes Subprogramas estratégicos de carácter</p>

		<p>transversal del Plan de Acción Indicativo 2010-2015 del Programa de Uso Racional y Eficiente de la Energía y demás Formas de Energía No Convencionales, PROURE:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Fortalecimiento institucional. 2. Educación y fortalecimiento de capacidades en Investigación, desarrollo tecnológico e innovación- I+D+i y gestión del conocimiento. 3. Estrategia financiera e impulso al mercado. 4. Protección al consumidor y derecho a la información. 5. Gestión y seguimiento de metas e indicadores. 6. Promoción del uso de Fuentes No Convencionales de Energía.
--	--	---

Tabla A-6 Decreto 3450 de 2008, Decreto 2501 de 2007 y Resolución 180919 de 2010.

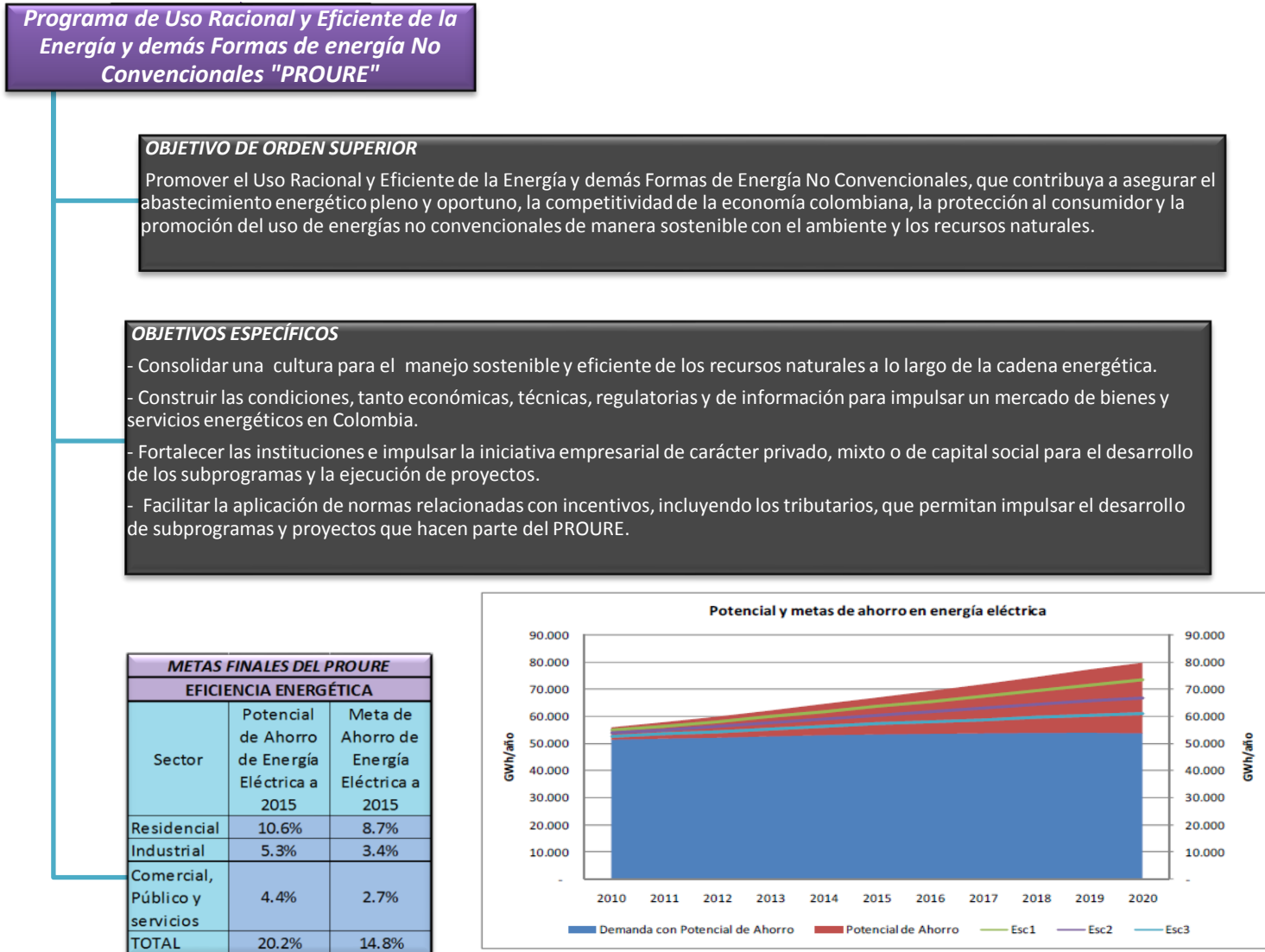


Figura A.1 Programa de uso racional y eficiente de la energía y demás formas de energía no convencionales PROURE [33]

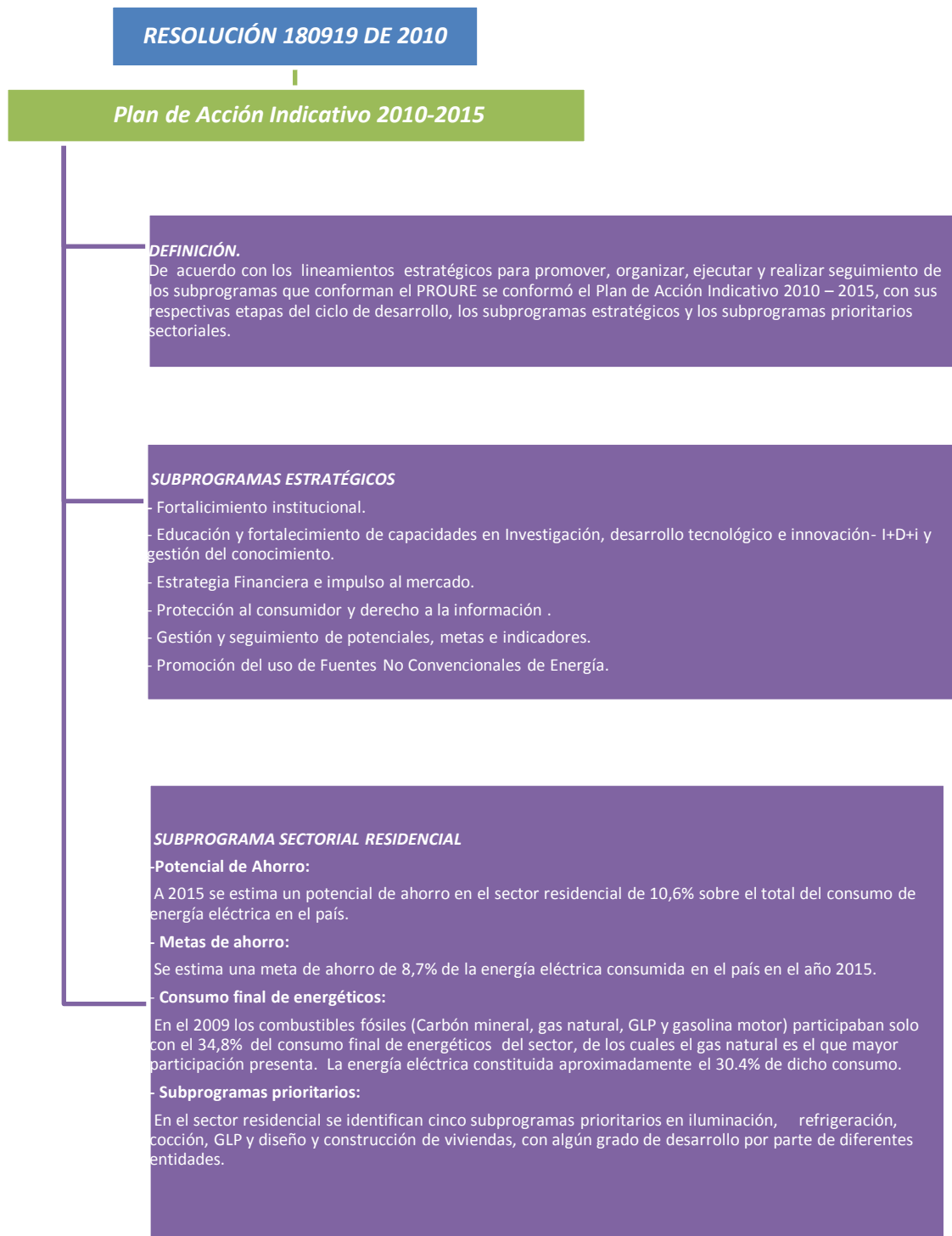


Figura A.2 Plan de acción indicativo para el PROURE [33].

ISO 50001 GESTIÓN DE LA ENERGÍA

DEFINICIÓN:

ISO 50001 de 2011 se trata de un nuevo estándar Internacional desarrollado por ISO (International Organization for Standardization) donde se establecen **los requisitos para la gestión adecuada de la energía**, orientado a la aplicación en todo tipo de empresas y organizaciones, grandes y pequeñas tanto del ámbito público o privado, bien se dediquen a la provisión de servicios o a la elaboración de productos o equipos.

OBJETIVOS:

ISO 50001 quiere ser una herramienta para las organizaciones del sector público y privado para aumentar su eficiencia energética, orientada a la reducción de costos y consumos de energía.

- Ayudar a las organizaciones a hacer **un mejor uso en el consumo energético** contando con los activos energéticos existentes.
- Promover las prácticas óptimas de gestión energética y **reforzar el buen uso de la energía** en las pautas de gestión de una empresa.
- Ayudar a las empresas a evaluar y **priorizar la implementación de nuevas tecnologías de eficiencia energética**.
- Promover la **eficiencia energética** en toda la cadena de suministro.

METODOLOGÍA Y CONTENIDO:

Plan: Establecer una Plan Energético en la organización de acuerdo a una planificación que establezca acciones concretas y objetivos para mejorar la gestión de la energía y la Política Energética de la organización.

Do: Implementar las acciones previstas en la planificación establecida por la dirección.

Check: Monitorizar los resultados estableciendo los indicadores adecuados que determinen el grado de cumplimiento de los objetivos de la planificación establecida de forma que podamos valorar y divulgar correctamente los resultados.

Act: Revision de los resultados para tomar las acciones de corrección y mejora que se estimen oportunas.

ISO 50001 proporciona un marco de requisitos que permite a las organizaciones:

- Desarrollar una política para un uso más eficiente de la energía.
- Fijar metas y objetivos para cumplir con la política.
- Utilizar los datos para entender mejor y tomar decisiones en materia de energía, uso y consumo.
- Medir los resultados.
- Revisar la efectividad de la política.
- Mejorar continuamente la gestión de la energía.

Figura A.3. ISO 50001 [40].

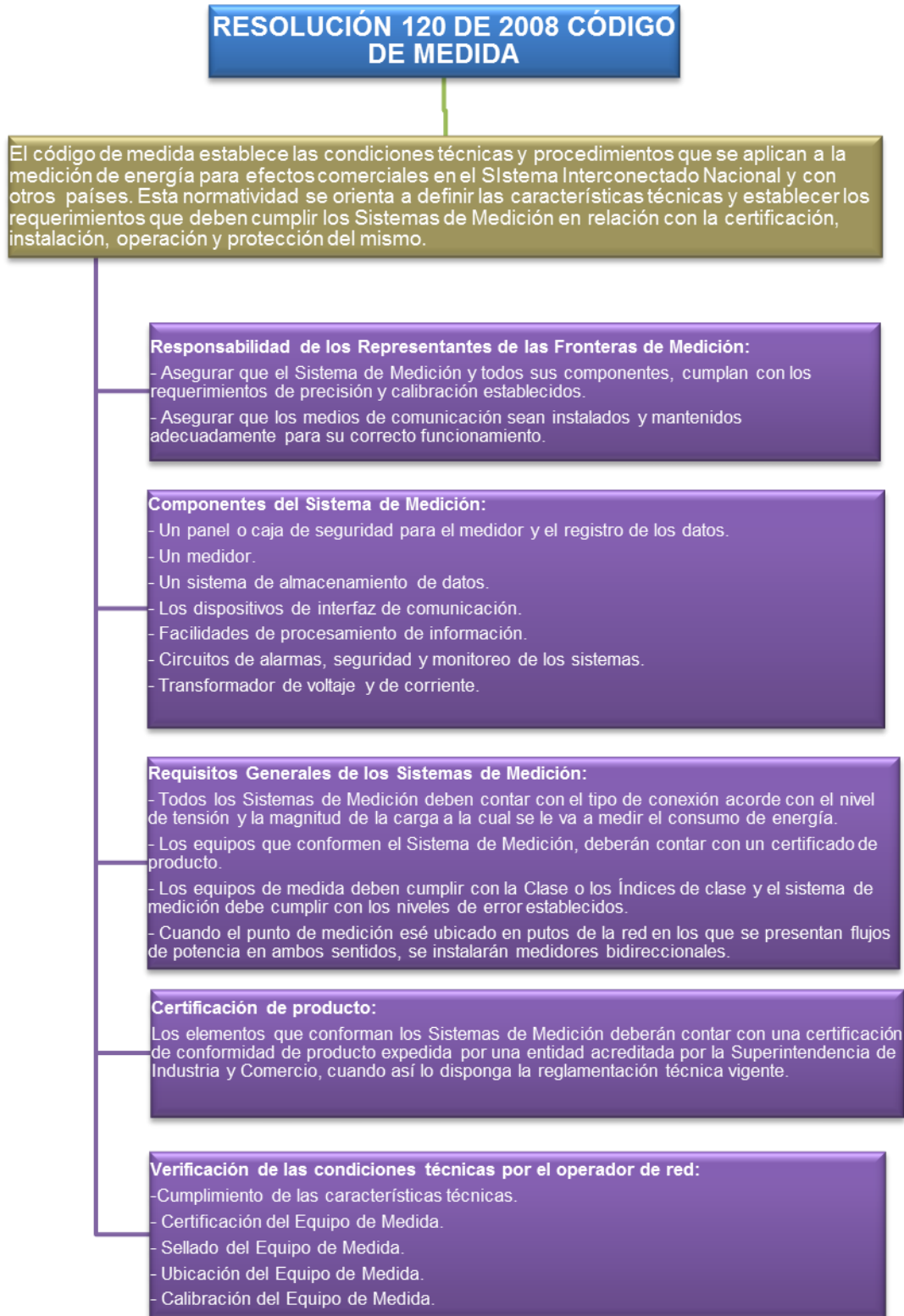


Figura A.4 Código de medida [38].

B. Estimación de las características y hábitos de consumo de energía eléctrica de los usuarios residenciales.

Los estudios en cuanto a la estimación de las características y hábitos de consumo de energía eléctrica realizados en Colombia para el sector residencial han estado encaminados hacia la determinación del consumo final de energía, e inclusive hasta la determinación del equipamiento energético de los usuarios en las principales ciudades. Sin embargo, para la ciudad de Bucaramanga dichos estudios apenas están en desarrollo según fuentes de la empresa electrificadora ESSA. A razón de la falta de datos propios, se tomara como referencia el estudio de consultaría No. 1517 contratado por la UPME a la Universidad Nacional de Colombia en Noviembre de 2005 “Determinación del consumo final de energía en el sector residencial urbano y comercial y determinación de consumos para equipos domésticos de energía eléctrica y gas”. Este estudio se basó en encuestas y mediciones sobre el consumo de energía de los electrodomésticos en operación normal dentro de los hogares para los seis estratos socioeconómicos en cuatro ciudades de país: Bogotá, Medellín, Barranquilla y Pasto, cuyo objetivo principal fue determinar el uso final y hábitos de consumo de la energía eléctrica en hogares y pequeños comercios.

El desarrollo del trabajo comenzara por tipificar las diferencias y similitudes de los aspectos geográficos, climáticos y culturales entre la ciudad de Bucaramanga y la ciudad del estudio que fue más similar en dichos aspectos a la ciudad de Bucaramanga, en un intento de establecer una mejor aproximación y teniendo en cuenta que el consumo energía final en los hogares no sólo se ve influenciado por la eficiencia termodinámica de los aparatos, sino que además intervienen factores físicos externos como el clima, la altura sobre el nivel del mar y las costumbres sociales y alimenticias de los usuarios. En este caso, la ciudad que brinda la mejor aproximación es Medellín.

- **Tipificación de diferencias y similitudes entre las ciudades de Bucaramanga y Medellín.**

La tipificación de diferencias y similitudes se realiza mediante la confrontación de aspectos geográficos, climatológicos, tipo de vivienda y promedio de personas por hogar.

- a. Ubicación geográfica de las ciudades de Bucaramanga y Medellín.**

Medellín es una ciudad capital del departamento de Antioquia, Colombia. Se localiza en el noroccidente del país enclavado en el centro del Valle de Aburrá, que se ubica en la cordillera central de los Andes, y el cual está atravesado de sur a norte por el río Medellín. La ciudad cuenta con un área total de 380,64 km² de los cuales 110,22 km² son suelo urbano y 270,42 km² son suelo rural. Topográficamente la ciudad es un plano inclinado que desciende desde 1800 [m] a 1500 [m] de altura sobre el nivel del mar. Dentro del paisaje urbano se destacan los cerros Nutibara y el Volador, estos pequeños cerros se levantan como manchas verdes en medio de la ciudad.

Bucaramanga es una ciudad Colombiana, capital del departamento de Santander. Está ubicada al noreste del país sobre la cordillera oriental, rama de la cordillera de los Andes, a orillas del río de Oro. La ciudad cuenta con una área de 165 km² y se encuentra en una zona alta de actividad sísmica. La topografía de Bucaramanga es en promedio un 15% plana, 30% ondulada y el restante 55% es quebrada. Tres grandes cerros se destacan a lo largo del territorio: Morro Rico, Alto de San José y El Cacique.



Figura B.1 Ubicación geográfica de las ciudades de Bucaramanga y Medellín, Colombia [Demis sitio web].

b. Parámetros climatológicos.

Gracias a la latitud y altitud de la ciudad de Medellín, dicha ciudad cuenta con un clima tropical monzónico. Por su ubicación entre montañas, Medellín es una ciudad de vientos suaves. El régimen de vientos lo determinan los alisios dominantes del noreste y las masas de aire cálido

que suben desde los valles bajos de los ríos Cauca y Magdalena, con predominio de movimiento en la zona norte del Valle de Aburrá, lo que origina que el viento sople en dirección norte-sur. Es de advertir que todas estas condiciones varían de acuerdo con los cambios climáticos originados en el océano Pacífico, llamados fenómeno de la niña y del niño, más lluvia o más sequía respectivamente [50]. El clima de Medellín ha tenido tradicionalmente buena fama, y ello le ha valido el apelativo de Ciudad de la Eterna Primavera.

El clima de Bucaramanga está clasificado por el IDEAM de la siguiente manera, en las partes de menor altitud de la ciudad el clima es cálido seco y en las zonas de mayor altitud de la ciudad el clima es templado seco [50]. Tiene una temperatura promedio de 23 °C y una máxima promedio de 27,9°C. El régimen de lluvias está distribuido en dos períodos secos y dos lluviosos. Los períodos secos comprenden los meses de diciembre, enero, febrero, marzo, junio, julio y agosto. Los períodos lluviosos se distribuyen en los meses de abril, mayo, septiembre, octubre y noviembre [51]. La Tabla B-1 presenta algunos parámetros meteorológicos para las ciudades de Medellín y Bucaramanga.

Parámetro	Medellín, Antioquia.	Bucaramanga, Santander
Temperatura promedio	22°C	23°C
Temperatura media máxima	28°C	27,9°C
Temperatura media mínima	16,4°C	19,2°C
Latitud	Norte 06° 13' 55"	Norte 07° 8' 0"
Longitud	Oeste 75° 34' 05"	Oeste 73° 8' 0"
Altura sobre el nivel del mar	1490 [m]	1018 [m]
Presión atmosférica	640 [mm Hg]	760 [mm Hg]
Humedad	68%	83,4%
Precipitación total	1656 [mm/año]	1253 [mm/año]
Días de lluvias	215 [días/año]	199 [días/año]
Horas de sol	1740 [hrs/año]	1346 [hrs/año]

Tabla B-1 Parámetros meteorológicos de la ciudades de Medellín y Bucaramanga [50].

c. Caracterización de la vivienda.

En la ciudad de Bucaramanga el 52,3% de las viviendas son casas y el 40,5% son apartamentos. Y en la ciudad de Medellín el 32,6% de las viviendas son casas y el 64,9% son apartamentos [52] [53].

En la Figura B.2 se aprecia una diferencia en el tipo de vivienda predominante en cada ciudad, dicha diferencia puede obedecer a la zona geográfica, ya que Medellín se encuentra en una zona muy montañosa, por tanto los patrones de construcción son de edificaciones verticales.

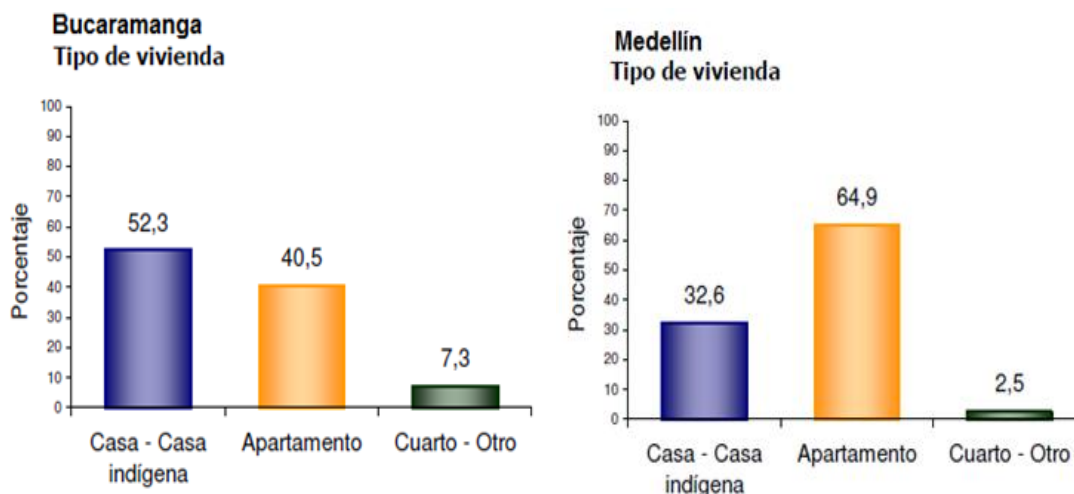


Figura B.2 Tipo de vivienda en la ciudades de Bucaramanga y Medellín [52], [53]

d. Promedio de personas en el hogar.

El promedio de personas por hogar es de 3,6 en ambas ciudades [52] [53] (ver Figura B.3). Esto se puede deber a la similitud en sus hábitos, costumbres sociales, alimenticias y deportivas.

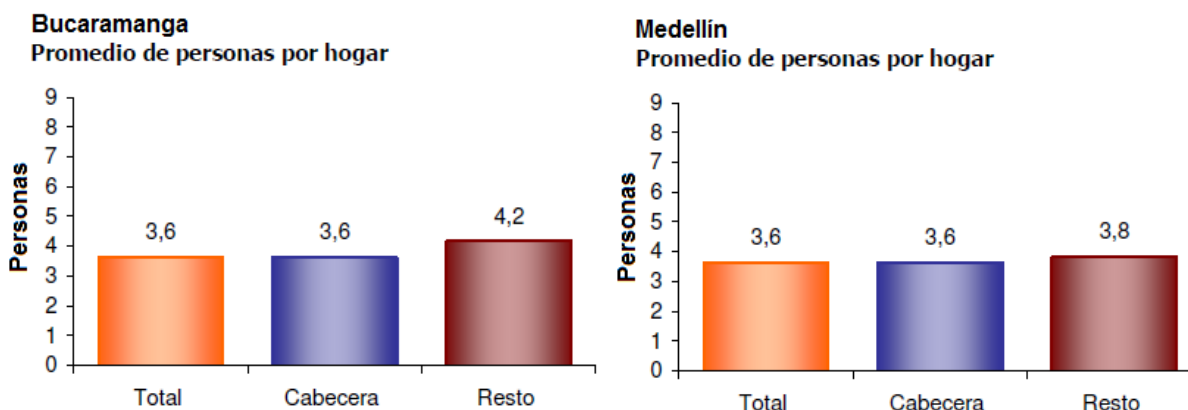


Figura B.3 Promedio de personas por hogar en la ciudades de Bucaramanga y Medellín [52], [53].

- **Resultados del estudio de la UPME para la ciudad de Medellín.**

A continuación se presentan los resultados del estudio contratado por la UPME para la ciudad de Medellín en tres componentes: la tenencia de los electrodomésticos, los patrones de uso y el uso final de la energía. Al tener el consumo desagregado en Medellín se puede aproximar la tendencia del consumo en Bucaramanga, según lo estudiado en numeral anterior.

a. Tenencia de electrodomésticos en la ciudad de Medellín.

La Figura B.4 y la Tabla B-2 muestran las estadísticas de la dotación de electrodomésticos en los diferentes hogares por estrato de la ciudad de Medellín.

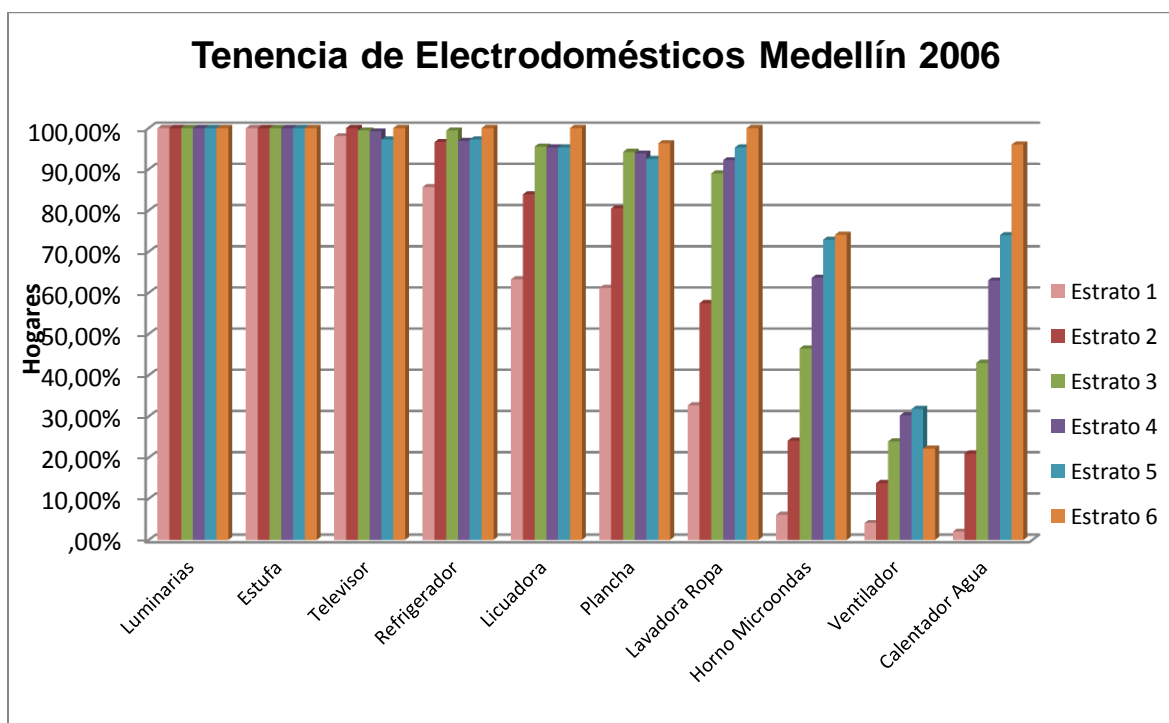


Figura B.4 Tenencia de electrodomésticos por estrato en la ciudad de Medellín, Colombia [41].

TENENCIA DE ELECTRODOMÉSTICOS MEDELLÍN 2006						
Equipo/Estrato	Estrato 1	Estrato 2	Estrato 3	Estrato 4	Estrato 5	Estrato 6
Luminarias	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
Estufa	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
Televisor	98,0%	100,0%	99,4%	99,2%	97,2%	100,0%
Refrigerador	85,7%	96,6%	99,4%	96,9%	97,2%	100,0%
Licuadora	63,3%	83,9%	95,5%	95,3%	95,3%	100,0%
Plancha	61,2%	80,5%	94,2%	93,8%	92,5%	96,3%
Lavadora Ropa	32,7%	57,5%	89,0%	92,2%	95,3%	100,0%
Horno Microondas	6,1%	24,1%	46,5%	63,6%	72,9%	74,1%
Ventilador	4,1%	13,8%	23,9%	30,2%	31,8%	22,2%
Calentador Agua	2,0%	21,0%	43,0%	63,0%	74,0%	96,0%

Tabla B-2 Tenencia de electrodomésticos por estrato en la ciudad de Medellín, Colombia [41].

Se observa que los electrodomésticos de mayor penetración en los hogares son aquellos destinados a satisfacer las necesidades básicas, tales como son luminarias, estufa, nevera, televisión, licuadora y plancha. Especial inserción se nota en la ciudad de Medellín de la lavadora de ropa, que hace unos años se consideraba como suntuaria, similar situación ocurre en la ciudad de Bucaramanga. Además a medida que crece el estrato también crece la dotación de electrodomésticos en el hogar.

b. Patrones de uso de los electrodomésticos en la ciudad de Medellín.

Esta parte del estudio tiene como objetivo identificar los hábitos de empleo de los equipos de uso final en los hogares de la ciudad de Medellín por estrato.

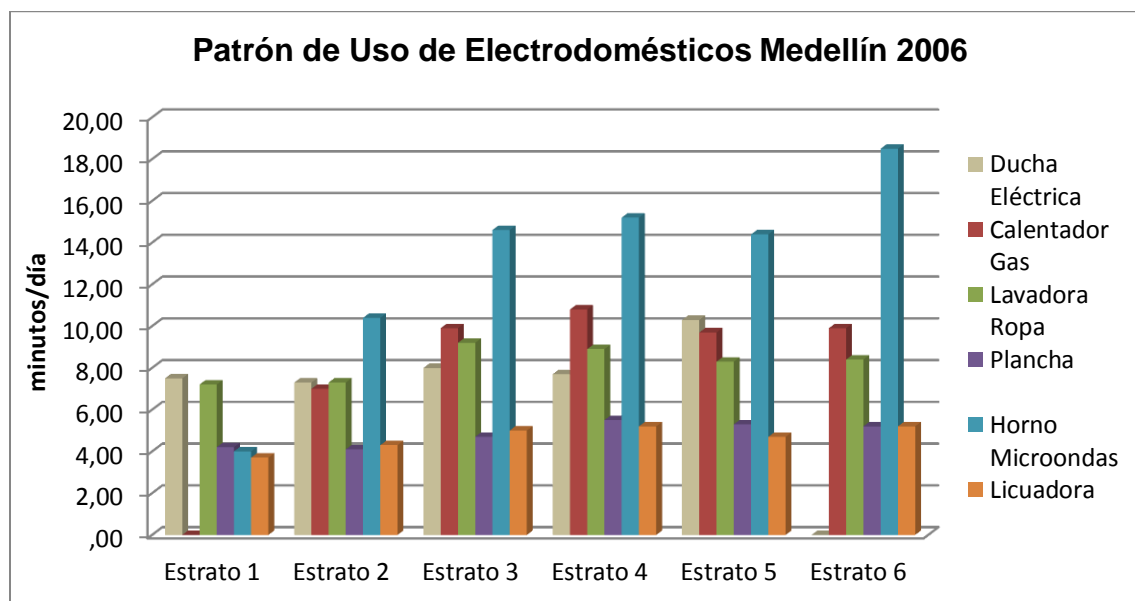


Figura B.5 Resumen del patrón de uso de electrodomésticos en minutos/día en la ciudad de Medellín, Colombia [41].

En la anterior figura el patrón de uso de los aparatos se evalúa en minutos de uso diario por persona a excepción del horno microondas y la licuadora que se evalúa en minutos diarios por hogar.

TIEMPO PROMEDIO DE USO DIARIO DE ELECTRODOMÉSTICOS MEDELLÍN 2006 (minutos/día)						
Electrodoméstico/Estrato	Estrato 1	Estrato 2	Estrato 3	Estrato 4	Estrato 5	Estrato 6
Ducha Eléctrica/persona	7,5	7,3	8,0	7,7	10,3	0,0
Calentador Gas/persona	0,0	7,0	9,9	10,8	9,7	9,9
Lavadora Ropa/persona	7,2	7,3	9,2	8,9	8,3	8,4
Plancha/persona	4,2	4,1	4,7	5,5	5,3	5,2
Horno Microondas/hogar	4,0	10,4	14,6	15,2	14,4	18,5
Licuadora/hogar	3,7	4,3	5,0	5,2	4,7	5,2

Tabla B-3 Tiempo promedio de uso diario de los electrodomésticos en la ciudad de Medellín, Colombia [41].

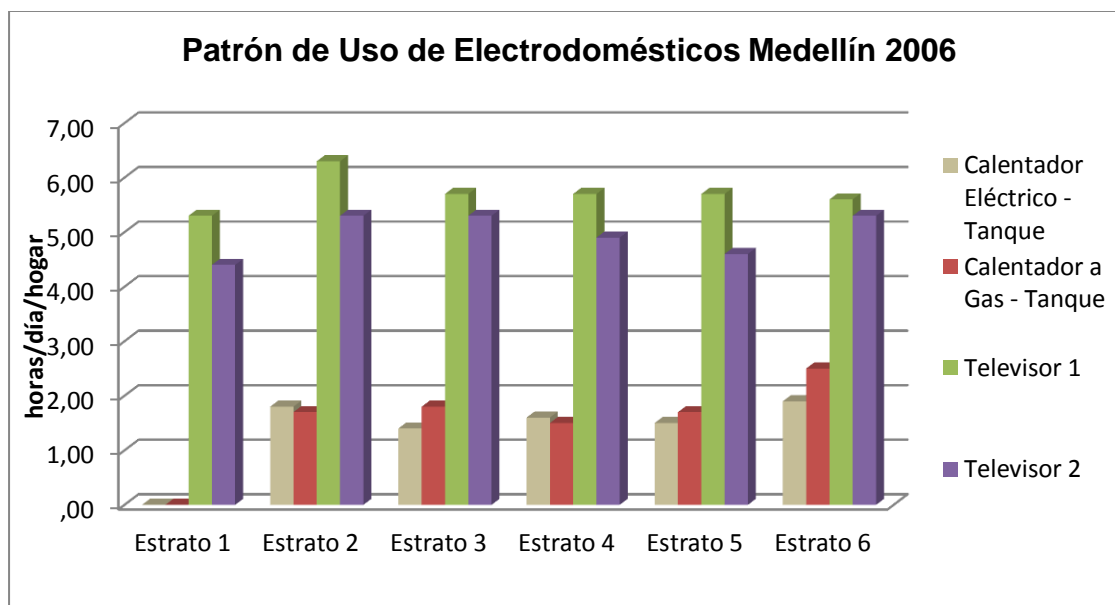


Figura B.6 Resumen del patrón de uso de electrodomésticos en horas/día en la ciudad de Medellín, Colombia [41].

Se observa que en general no existen cambios pronunciados en el patrón de uso de los equipos de estrato a estrato, aunque se detecta un ligero aumento de los tiempos promedio en la medida en que se consideran estratos más altos. Esta situación ocurre similarmente en la ciudad de Bucaramanga pero con algunas pequeñas variaciones en los respectivos tiempos de uso de los electrodomésticos.

c. Estimación del consumo de energía eléctrica en los hogares de la ciudad de Medellín.

El objetivo de esta estimación fue determinar mediante mediciones realizadas en campo, los consumos específicos por electrodomésticos y así valorar el consumo de electricidad de los usuarios del sector residencial en la ciudad de Medellín.

La Tabla B-4 muestra el consumo promedio mensual de energía eléctrica de los hogares de la ciudad de Medellín por estrato en el año 2006.

CONSUMO MENSUAL DE ENERGÍA ELÉCTRICA MEDELLÍN 2006 [kWh/mes]						
Uso/Estrato	Estrato 1	Estrato 2	Estrato 3	Estrato 4	Estrato 5	Estrato 6
Iluminación	19,73	50,27	59,76	49,94	80,65	46,85
Refrigeración	59,36	84,53	56,38	85,52	42,86	118,67
Televisión	9,89	19,70	12,04	21,78	10,23	21,70
Otros Electrodomésticos	8,40	26,68	26,13	34,48	24,85	63,73
TOTAL (kWh/mes)	97,38	181,18	154,31	191,72	158,59	250,95

Tabla B-4 Consumo promedio mensual de energía eléctrica por uso y estrato en la ciudad de Medellín, Colombia [41].

COMPOSICIÓN DEL CONSUMO MENSUAL DE ENERGÍA ELÉCTRICA MEDELLÍN 2006						
Uso/Estrato	Estrato 1	Estrato 2	Estrato 3	Estrato 4	Estrato 5	Estrato 6
Iluminación	20,26%	27,74%	38,73%	26,05%	50,86%	18,67%
Refrigeración	60,96%	46,66%	36,54%	44,61%	27,03%	47,29%
Televisión	10,16%	10,87%	7,80%	11,36%	6,45%	8,65%
Otros Electrodomésticos	8,63%	14,73%	16,93%	17,98%	15,67%	25,40%
TOTAL	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%

Tabla B-5 Composición del consumo promedio mensual de energía eléctrica por uso y estrato en la ciudad de Medellín, Colombia [41].

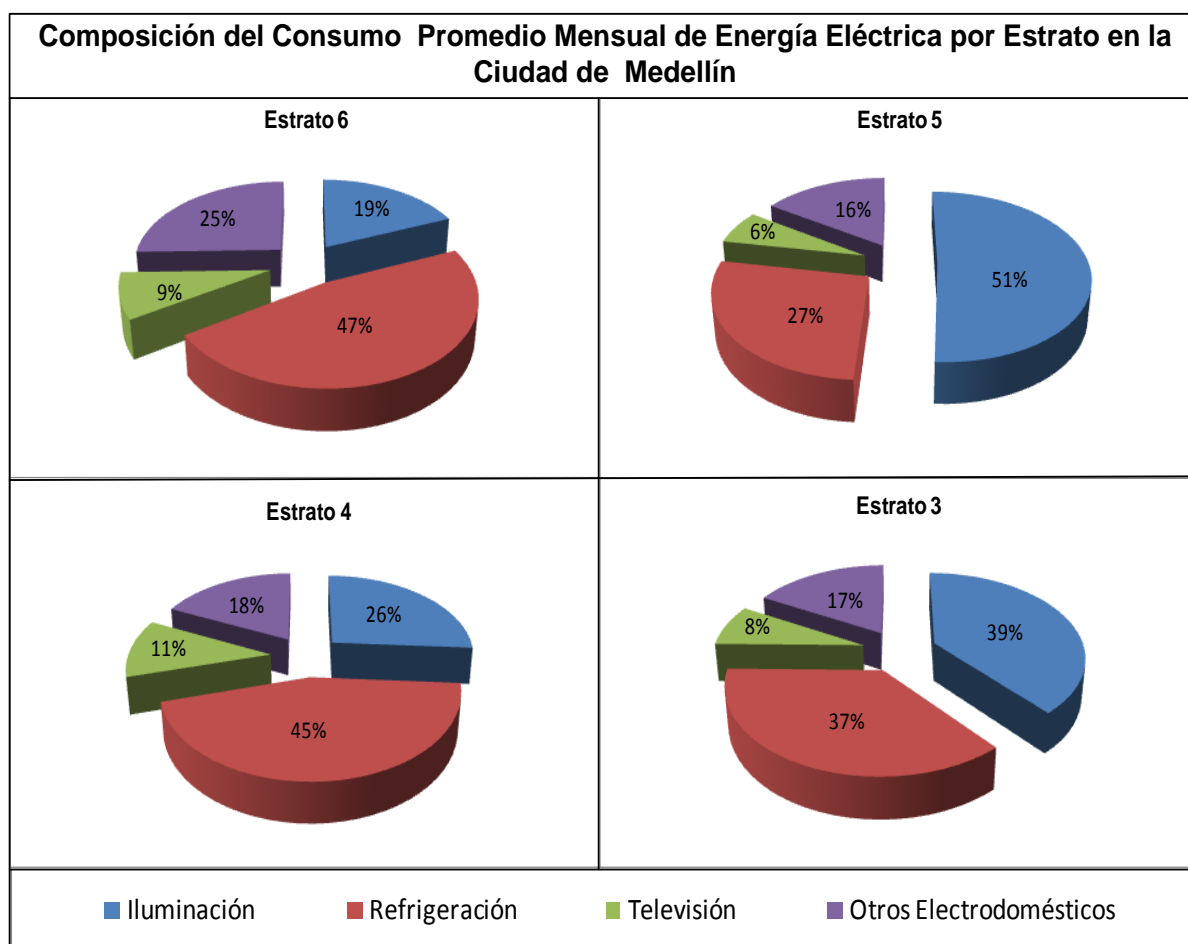


Figura B.7 Composición del consumo promedio mensual de energía eléctrica por estrato en la ciudad de Medellín, Colombia [41].

En las gráficas anteriores se observa la composición del consumo promedio mensual de energía eléctrica por uso de los electrodomésticos en los diferentes estratos socioeconómicos en la ciudad de Medellín en el año 2006. En los diferentes estratos socioeconómicos se aprecia el gran porcentaje de contribución en el consumo energético de la refrigeración e iluminación, con un promedio de 43,85% y 30,38% respectivamente. El porcentaje de participación por parte

de los otros electrodomésticos (lavadora de ropa, licuadora, plancha, horno microondas, secador de pelo) es también considerable con un promedio de 16,56% en el consumo de electricidad en los distintos estratos.

Como conclusión general, se aprecia un aumento del consumo en aplicación o uso con el estrato socioeconómico, debido a los hábitos de uso de la energía y a las condiciones ambientales en las que viven los usuarios.

- **Caracterización de la carga de uso final en usuarios residenciales.**

El estudio de la UPME (Determinación del consumo final de energía) basado en encuestas y mediciones establece un procedimiento que analiza: la tenencia de electrodomésticos, horas de uso y potencia de los electrométricos; concluyendo en una torta porcentual la composición del consumo por cargas características. En la Tabla B-5 y la Figura B.7 se puede observar que las componentes principales del consumo total de energía eléctrica para todos los estratos son: refrigeración, iluminación, televisión y otros electrodomésticos. A 2006 los electrodomésticos que componían el consumo “otros electrodomésticos” eran: lavadora de ropa, licuadora, plancha, horno microondas y secador de pelo. Sin embargo en los últimos años es evidente la creciente demanda de electrodomésticos y dispositivos de entretenimiento digital y comunicación. Estos factores conllevan a cambios en la composición de la torta de consumo, el componente de televisión mostrado en el estudio que ahora sería entendido como entretenimiento incrementaría su participación en la torta, una vez añadidos dispositivos como: (consolas de juego, reproductores DVD, sistemas de audio HD, etc.). En el componente otros electrodomésticos se esperarían al igual un incremento en la participación del consumo total, debido a los aportes en consumo de dispositivos móviles de comunicación y la mayor tenencia de electrodomésticos. Cabe resaltar que actualmente se tienen componentes de mejor eficiencia en componentes como iluminación y refrigeración, por lo que se esperaría un decremento en la conformación de la torta total del consumo. En la Figura B.8 se presenta una aproximación a la caracterización actual de la carga de uso final, basados en los resultados del estudio UPME y los aspectos anteriormente mencionados.

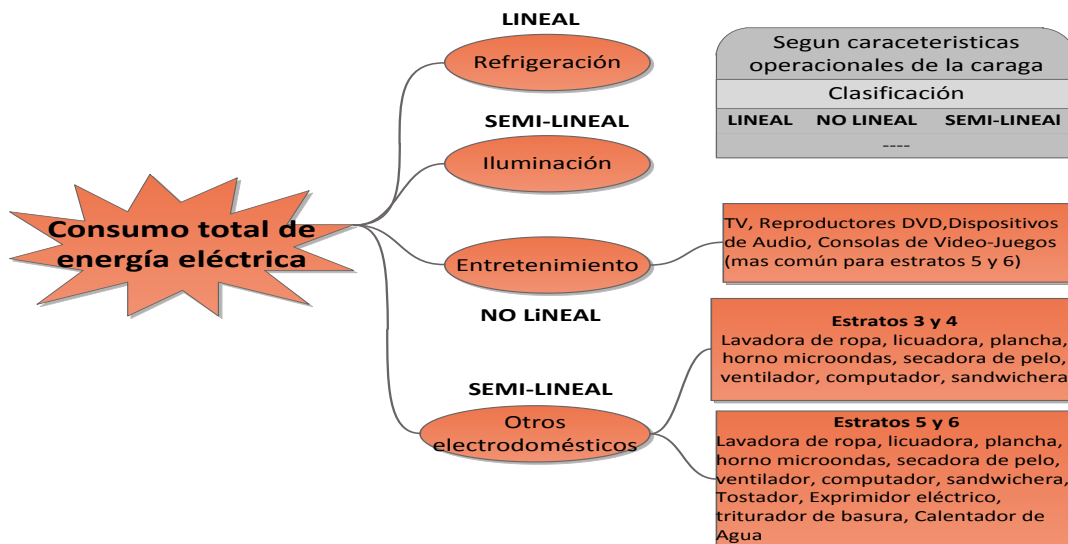


Figura B.8 Caracterización de la carga de uso final para usuarios residenciales [Autores].

C. Revisión de la oferta inmobiliaria

La revisión de la oferta inmobiliaria actual para el sector residencial del área Metropolitana de Bucaramanga tiene el propósito de acentuar la propuesta de gestión energética residencial a las características de la infraestructura inmobiliaria local. Dicho propósito se realizara mediante el reconocimiento de distribuciones arquitectónicas, áreas de construcción por unidad residencial, estrato objetivo de cada oferta, etc. La Tabla C-1 muestra la ficha técnica de la revisión.

FICHA TÉCNICA	
Universo	Ofertas Inmobiliarias por Estrato Socioeconómico (3, 4, 5 y 6).
Área/Cubrimiento	Área Metropolitana de Bucaramanga.
Tema	El objetivo de esta revisión fue averiguar a una muestra de ofertas inmobiliarias locales sobre la distribución arquitectónica y áreas de construcción de las unidades residenciales con base en el estrato socioeconómico.
Grupo objetivo	Empresas Constructoras - Urbanizadoras
Tipo de muestreo	Muestreo no probabilístico aleatorio estratificado por empresas constructoras.
Técnica de recolección de datos	Se obtiene un listado de ofertas inmobiliarias según portal Finca Raíz, con el cual se revisa la página web por empresa constructora.
Tamaño de la muestra	20 ofertas inmobiliarias (5 por estrato socioeconómico).
Periodo de recolección de información	Abril - Mayo de 2012
Realizada por	Gustavo Archila y Walter Gómez.
	http://www.fincaraiz.com.co

Tabla C-1 Ficha técnica: revisión de la oferta inmobiliaria actual por estrato socioeconómico.

- **Oferta inmobiliaria local para los estratos socioeconómicos 3 y 4:**

La revisión de la oferta inmobiliaria local para los estratos 3 y 4 se presentan la Tabla C-2 y Tabla C-3 respectivamente.

OFERTA INMOBILIARIA PARA EL ESTRATO 3					
CONSTRUCTORA	ISASER	MARVAL	PROURBE	GESTORA Y PROMOTORA	SUMAS

NOMBRE DE LA OFERTA	Santa Isabel Condomio Club	Miraflores Apartamentos	Torre Gironela Apartamentos	Avalon	Florida Plaza
ÁREA POR UNIDAD RESIDENCIAL	67,58 m ²	50,0 m ²	65,54 m ²	79,47 m ²	88,5 m ²
CARACTERÍSTICAS DEL HOGAR	Sala-comedor 2 Alcobas auxiliares 1 Alcoba principal 1 Baño 1 Baño auxiliar (alcoba ppal.) Cocina Hall de TV Zona de ropas Balcón	Sala-comedor 1 Alcoba auxiliar 1 Alcoba principal 1 Baño 1 Baño 1 Baño auxiliar (alcoba ppal.) Cocina Estudio Zona de ropas	Sala-comedor 2 Alcoba auxiliar 1 Alcoba principal 1 Baño 1 Baño auxiliar (alcoba ppal.) Cocina Estudio Zona de ropas Balcón	Sala-comedor 2 Alcobas auxiliares 1 Alcoba principal 1 Baño 1 Baño auxiliar (alcoba ppal.) Cocina Estudio Zona de ropas Balcón Vestier (alcoba ppal.)	Sala-comedor 2 Alcobas auxiliares 1 Alcoba principal 1 Baño 1 Baño auxiliar (alcoba ppal.) Cocina Hall de TV Zona de ropas Terraza Vestier (alcoba ppal.)
CARACTERÍSTICAS DE LA CONSTRUCCIÓN	Conjunto de Apartamentos Zona: Bucaramanga Estrato: 3 Calle 9 # 19-01	Conjunto de apartamentos Zona: Norte, Piedecuesta Estrato: 3 Carrera 2 con calle 21	Conjunto de apartamentos Zona: Girón Estrato: 3 Calle 13 # 25-68 Frente a Quintas del Campestre	Edificio de apartamentos Zona: Bucaramanga Estrato: 3 Cra 19 con calle 10 San Francisco	Edificio de apartamentos Zona: Floridablanca Estrato: 3 Cra 3 con Cl. 4 Esquina

Tabla C-2. Oferta inmobiliaria local para el estrato 3.

OFERTA INMOBILIARIA PARA EL ESTRATO 4					
CONSTRUCTORA	MARVAL	AREA URBANA	CONSUEGRA SANTOS	PROURBE	CONARING
NOMBRE DE LA OFERTA	Puerta Mayor	Pinares Condomio Club	Dimanti Apartamentos	Bosque de Pinos Condominio	Altos De La Pradera Apartamentos
ÁREA POR UNIDAD RESIDENCIAL	79,84 m ²	77,57 m ²	83,56 m ²	86,03 m ²	94,98 m ²
CARACTERÍSTICAS DEL HOGAR	Sala-comedor 2 Alcobas auxiliares 1 Alcoba principal 1 Baño 1 Baño auxiliar (alcoba ppal.) Cocina Estudio Zona de ropas Balcón	Sala-comedor 2 Alcobas auxiliares 1 Alcoba principal 1 Baño 1 Baño auxiliar (alcoba ppal.) Cocina Zona de ropas Amplia terraza	Sala-comedor 2 Alcobas auxiliares 1 Alcoba principal 1 Baño 1 Baño auxiliar (alcoba ppal.) Cocina Estar de TV Zona de ropas Balcón	Sala-comedor 2 Alcobas auxiliares 1 Alcoba principal 1 Baño 1 Baño auxiliar (alcoba ppal.) Cocina Hall de TV Zona de ropas Terraza	Sala-comedor 2 Alcobas auxiliares 1 Alcoba principal 1 Baño 1 Baño auxiliar (alcoba ppal.) Cocina Estudio Hall de TV Zona de ropas Terraza
CARACTERÍSTICAS DE LA CONSTRUCCIÓN	Conjunto de Apartamentos Zona: Centro, Bucaramanga Estrato: 4 Diagonal 15 entre calles 58 y 59.	Conjunto de apartamentos Zona: Sector norte del casco urbano de Piedecuesta Estrato: 4 Sobre la Avenida 10 N y la paralela oriental de la autopista Piedecuesta – Bucaramanga.	Conjunto de Apartamentos Zona: Bucaramanga Estrato: 4 Avenida 87 # 23-165, Diamante 2	Conjunto de apartamentos Zona: Oriente, Bucaramanga Estrato: 4 Calle 10 # 34-49 Los Pinos	Conjunto de apartamentos Zona: Bucaramanga Estrato: 4 Circunvalar 36a # 104 - 128 Altos de Tajamar

--	--	--	--	--	--

Tabla C-3. Oferta inmobiliaria local para el estrato 4.

Se observa en las anteriores tablas que el tipo de vivienda predominante en las actuales ofertas inmobiliarias para los estratos 3 y 4 es el apartamento.

De la comparación entre las distintas ofertas inmobiliarias por estrato en cuanto a las características del hogar, se obtuvo unas distribuciones arquitectónicas comunes, las cuales se presentan en la Tabla C-4:

	ESTRATO 4	ESTRATO 3
Distribución Arquitectónica Común por Estrato	Área promedio por unidad residencial: 85 m ² Sala-comedor 2 Alcobas Auxiliares 1 Alcoba Principal 1 Baño 1 Baño Auxiliar (alcoba ppal.) Cocina Hall de TV Balcón Zona de ropas	Área promedio por unidad residencial: 70 m ² Sala-comedor 2 Alcobas Auxiliares 1 Alcoba Principal 1 Baño 1 Baño Auxiliar (alcoba ppal.) Cocina Estudio Balcón Zona de ropas

Tabla C-4. Distribución arquitectónica común para los estratos 3 y 4.

Se observa una similitud entre los estratos 3 y 4 en cuanto a la distribución arquitectónica ya que ambos estratos poseen sala-comedor, 2 alcobas auxiliares, 1 alcoba principal, 1 baño, 1 baño auxiliar, cocina, balcón y zona de ropas; la mayor diferencia entre ambos estratos es el área construida por unidad residencial. Estas similitudes son un resultado importante para el diseño de la propuesta de gestión ya que permite unificar los estratos 3 y 4 en un sólo escenario sin sesgar la funcionalidad del sistema para ninguno de los usuarios.

- **Oferta inmobiliaria local para los estratos socioeconómicos 5 y 6:**

La revisión de la oferta inmobiliaria local para los estratos 5 y 6 se presentan en la Tabla C-5 y Tabla C-6 respectivamente.

OFERTA INMOBILIARIA PARA EL ESTRATO 5					
CONSTRUCTORA	MARVAL	ISASER	FENIX	URBANAS	ESCANDON MEJIA
NOMBRE DE LA OFERTA	Britania	La Florida Condomio Club	Montserrat	Iroka	Terrazo 48 Apartamentos
ÁREA POR UNIDAD RESIDENCIAL	119 m ²	87,7 m ²	108 m ²	99,95 m ²	120,29 m ²
CARACTERÍSTICAS DEL HOGAR	Sala-comedor 2 Alcobas Auxiliares 1 Alcoba principal 2 Baños	Sala-comedor 2 Alcobas Auxiliares 1 Alcoba principal 1 Baño	Sala-comedor 2 Alcobas Auxiliares 1 Alcoba principal 1 Alcoba de	Sala-comedor 2 Alcobas Auxiliares 1 Alcoba principal 1 Alcoba de	Sala - comedor 2 Alcobas Auxiliares 1 Alcoba principal 2 Baños

	1 Baño auxiliar (alcoba ppal.) Cocina integral Estudio Balcón Vestier (alcoba ppal.) Zonas de ropas	1 Baño auxiliar (alcoba ppal.) Cocina Sala de TV Balcón Zona de ropas	servicio con baño 1 Baño 1 Baño auxiliar (alcoba ppal.) Cocina Estudio Hall TV Balcón Vestier (alcoba ppal.) Patio de ropas	servicio con baño 1 Baño 1 Baño auxiliar (alcoba ppal.) Cocina Hall TV Terraza Zona de ropas	1 Baño auxiliar (alcoba ppal.) Cocina tipo isla Estudio 2 Terrazas Zona de ropas aislada
CARACTERÍSTICAS DE LA CONSTRUCCIÓN	Edificio de apartamentos Zona: Oriente, Bucaramanga Estrato: 5 Circunvalar 35 # 92-156 junto a Neomundo	Conjunto de apartamentos Zona: Floridablanca Estrato: 5 Cra. 27a # 122-27	Edificio de apartamentos Zona: Bucaramanga Estrato: 5 Calle 65 con Cra. 44 Esquina, La Floresta	Conjunto de apartamentos Zona: Cañaveral Estrato: 5 Avenida 29 # 23- Impar Cañaveral (posterior La Pera)	Edificio de apartamentos Zona: Bucaramanga Estrato: 5 Cra 48 # 52-54 Terrazas, a unos pasos de la UNAB.

Tabla C-5. Oferta inmobiliaria local para el estrato 5.

OFERTA INMOBILIARIA PARA EL ESTRATO 6					
CONSTRUCTORA	MARVAL	FENIX CONSTRUCCIONES	URBANAS	CONSUEGRA SANTOS	CONSTRUCASA
NOMBRE DE LA OFERTA	Mirador del Roble Apartamentos	Santorini Apartamentos	Torre del Vento Apartamentos	Venetto	Aqua Tower Apartamentos
ÁREA POR UNIDAD RESIDENCIAL	132,3 m ²	119,2 m ²	153,68 m ²	144,8 m ²	166,7 m ²
CARACTERÍSTICAS DEL HOGAR	Sala-comedor 2 Alcobas Auxiliares 1 Alcoba principal 1 Alcoba de servicio con baño 2 Baños 1 Baño auxiliar (alcoba ppal.) Cocina integral Estudio Hall de TV Vestier (alcoba ppal.) Balcón Zona de ropas	Sala-comedor 2 Alcobas Auxiliares 1 Alcoba principal 1 Alcoba de servicio con baño 1 Baño 1 Baño auxiliar (alcoba ppal.) Cocina Estudio Sala de TV Terraza Zona de ropas	Sala-comedor 2 Alcobas Auxiliares 1 Alcoba principal 1 Alcoba de servicio con baño 2 Baños 1 Baño auxiliar (alcoba ppal.) Cocina Estar de TV y medios Vestier (alcoba ppal.) Terraza Zona de ropas	Sala-comedor 2 Alcobas Auxiliares 1 Alcoba principal 1 Alcoba de servicio con baño 2 Baños 1 Baño auxiliar (alcoba ppal.) Cocina Estudio Estar de TV Vestier (alcoba ppal.) 2 Balcones Zona de ropas	Sala-comedor 2 Alcobas Auxiliares 1 Alcoba principal 1 Alcoba de servicio con baño 2 Baños 1 Baño auxiliar (alcoba ppal.) Cocina integral Estudio Hall de TV Vestier (alcoba ppal.) Balcón Zona de ropas
CARACTERÍSTICAS DE LA CONSTRUCCIÓN	Edificio de apartamentos Zona: Oriente, Bucaramanga Estrato: 6 Carrera 39A # 42-106 Altos de Cabecera.	Conjunto de apartamentos Zona: Anillo vial. Estrato: 6 Bucaramanga.	Edificio de apartamentos Zona: Oriente, Bucaramanga Estrato: 6 Entre la Cra 40 y 40a con calle 41, Cabecera.	Edificio de apartamentos Zona: Sotomayor, Bucaramanga Estrato: 6 Cra 28 con calle 44 Esquina.	Edificio de apartamentos Zona: Oriente, Bucaramanga Estrato: 6 Cra 41 con calle 41, cabecera del Llano

Tabla C-6. Oferta inmobiliaria local para el estrato 6.

Al igual que en los estratos 3 y 4, se observa en las dos anteriores tablas que el tipo de vivienda predominante en las actuales ofertas inmobiliarias para los estratos 5 y 6 es el apartamento. De la confrontación de las diferentes ofertas inmobiliarias para los estratos 5 y 6 en cuanto a las características del hogar se presenta la Tabla C-7, la cual muestra las distribuciones arquitectónicas comunes presentes en ambos estratos:

	ESTRATO 6	ESTRATO 5
Distribución Arquitectónica común por Estrato	Área promedio por unidad residencial: 143 m ² Sala-comedor 2 Alcobas Auxiliares 1 Alcoba Principal 1 Alcoba de Servicio con Baño 2 Baños 1 Baño Auxiliar (alcoba ppal.) Cocina Estudio Estar de TV Vestier (alcoba ppal.) Balcón Zona de ropas	Área promedio por unidad residencial: 107 m ² Sala-comedor 2 Alcobas Auxiliares 1 Alcoba Principal 2 Baños 1 Baño Auxiliar (alcoba ppal.) Cocina Estudio Balcón Zona de ropas

Tabla C-7. Distribución arquitectónica común para los estratos 5 y 6.

Se observa entre los estratos 5 y 6 una semejanza en cuanto a la distribución arquitectónica ya que ambos estratos poseen sala-comedor, 2 alcobas auxiliares, 1 alcoba principal, 2 baños, 1 baño auxiliar, estudio, cocina, balcón y zona de ropas; la mayor diferencia entre ambos estratos es el área construida por unidad residencial, seguido de unas discrepancias en la alcoba de servicio con baño, el estar de TV y el vestir de la alcoba principal. Estos resultados serán tenidos en cuenta en el diseño de la propuesta de gestión del segundo escenario, buscando unificar las diferencias de tal manera que se pueda ofrecer un sistema funcional para ambos estratos.

D. Ilustración de la distribución estratégica de circuitos ramales.

A continuación se presenta una ejemplificación de la distribución estratégica de circuitos ramales para un usuario residencial de estrato 3-4.

La ejemplificación toma como referencia la revisión de la oferta inmobiliaria en cuanto a las distribuciones arquitectónicas comunes para usuarios residenciales de estratos socioeconómicos 3-4 descrita en el Anexo B. La Figura D.1 y Figura D.2 presenta la distribución de circuitos ramales para iluminación y tomas respectivamente. En la Figura D.3 y Figura D.4 se muestra el cableado para dichos circuitos ramales.

La Tabla D-1 muestra los circuitos ramales, el color del circuito en las respectivas figuras, la denominación para el circuito y el área de dominio en el hogar.







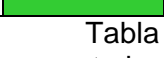
# De circuito	Color en la figura	Denominación	Área del hogar
CIRCUITO 1		Iluminación	Zona de ropas, Cocina, Sala-comedor, Estar de TV y Terraza.
CIRCUITO 2		Iluminación	Alcoba Principal, Alcobas Auxiliares y Baños.
CIRCUITO 3		Entretenimiento	Estar de TV, Alcoba Principal y Auxiliares
CIRCUITO 4		Plancha y lavadora	Zona de ropas
CIRCUITO 5		Electrodomésticos de cocina	Cocina
CIRCUITO 6		Refrigeración	Cocina
CIRCUITO 7		Otros pequeños electrodomésticos	Sala-comedor, Terraza y Baños

Tabla D-1 Distribución estratégica de circuitos ramales.

La Tabla D-2 presenta las etiquetas de los códigos utilizados para los electrodomésticos en las Figuras C.2 y C.4

ENTR	Entretenimiento	SAND	Sandwichera
PL	Plancha	HORN	Horno microondas
LR	Lavadora de Ropa	NEV	Nevera
LIC	Licuada	OTR	Pequeños electrodomésticos

Tabla D-2 Códigos de electrodomésticos.

E. 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”. A continuación se expone cada etapa de la metodología establecida.

- **Factores de demanda**¹³

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

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

Tabla E-1. Factores de demanda.

- **Factores de diversidad**¹⁴

Los factores de diversidad para los diferentes estratos socioeconómicos, se presenta en la Tabla E-2.

ESTRATO	CARGA [VA]
Estrato 1, 2, 3 y 4	$F_Div = 1/(0,2+0,8*e^{((1-N)/6)})$
Estrato 5 y 6	$F_Div = 1/(0,3+0,7*e^{((1-N)/6)})$
N: Número de usuarios	

Tabla E-2. Factores de diversidad.

¹³ Factor de demanda: Razón de la demanda máxima de un sistema a la carga instalada del mismo.

¹⁴ Factor de diversidad: Razón de la suma de las demandas máximas individuales de las varias subdivisiones de un sistema, a la demanda máxima de todo el sistema.

- **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 usuario¹⁵ debe ser:

- $32 \left[\frac{VA}{m^2} \right]$ 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**

La revisión de la oferta inmobiliaria local y el estudio contratado por la UPME “Determinación del consumo final de energía en el sector residencial urbano y comercial y determinación de consumos para equipos domésticos de energía eléctrica y gas” nos dan dos recursos importantes para determinar la dotación de electrodomésticos y aparatos a usuarios residenciales; el primero es la similitud en la distribución arquitectónica entre los estratos 3-4 y 5-6; y el segundo son las estadísticas sobre la tenencia de electrodomésticos por estrato en los diferentes hogares de la ciudad de Medellín.

1. La Tabla E-3 permitió definir dos propuestas de gestión energética residencial para 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.

Distribución Arquitectónica común por Estrato	PRIMER ESCENARIO DE GESTIÓN ENERGÉTICA		SEGUNDO ESCENARIO DE GESTIÓN ENERGÉTICA	
	ESTRATO 4	ESTRATO 3	ESTRATO 6	ESTRATO 5

¹⁵ 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.

	Área promedio por unidad residencial: 85 m ² Sala-comedor 2 Alcobas Auxiliares 1 Alcoba Principal 1 Baño 1 Baño Auxiliar (alcoba ppal.) Cocina Hall de TV Balcón Zona de ropas	Área promedio por unidad residencial: 70 m ² Sala-comedor 2 Alcobas Auxiliares 1 Alcoba Principal 1 Baño 1 Baño Auxiliar (alcoba ppal.) Cocina Estudio Balcón Zona de ropas	Área promedio por unidad residencial: 143 m ² Sala-comedor 2 Alcobas Auxiliares 1 Alcoba Principal 1 Alcoba de Servicio con Baño 2 Baños 1 Baño Auxiliar (alcoba ppal.) Cocina Estudio Estar de TV Vestier (alcoba ppal.) Balcón Zona de ropas	Área promedio por unidad residencial: 107 m ² Sala-comedor 2 Alcobas Auxiliares 1 Alcoba Principal 2 Baños 1 Baño Auxiliar (alcoba ppal.) Cocina Estudio Balcón Zona de ropas
--	--	---	---	---

Tabla E-3. Distribución arquitectónica común para los estratos 3, 4, 5 y 6.

2. La Figura E.1 muestra la tenencia de electrodomésticos para usuarios residenciales en la ciudad de Medellín en el año 2006, sin embargo como se justificó en el Anexo B es válido tomarlos como datos de referencia para la ciudad de Bucaramanga.

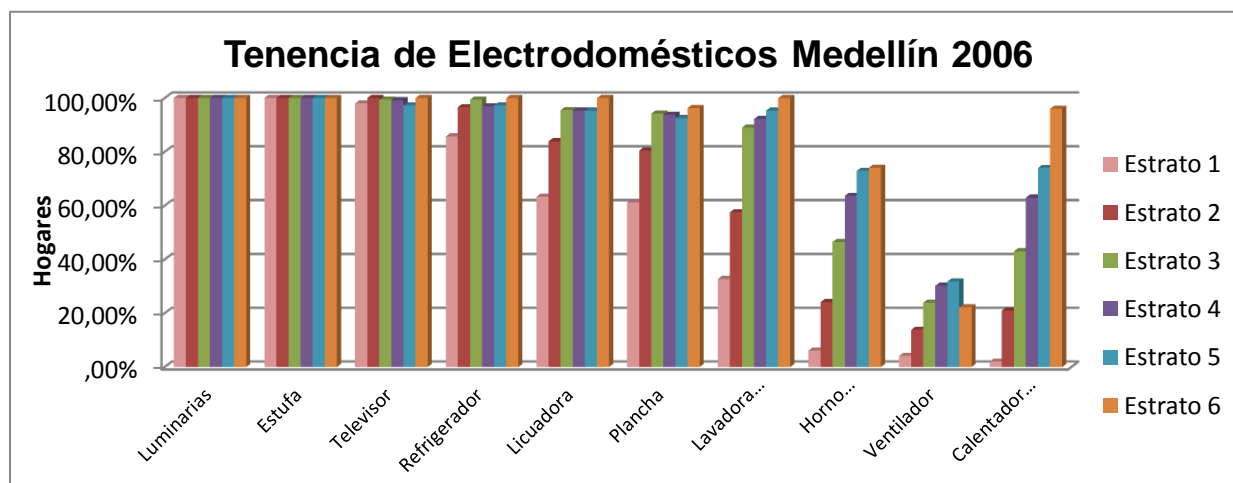


Figura E.1 Tenencia de Electrodomésticos por Estrato en la Ciudad de Medellín, Colombia.

Teniendo en cuenta los dos criterios mencionados anteriormente, se propone el establecimiento de cargas presentado en la Tabla E-4 y Tabla E-5 para los estratos 3-4 y 5-6 respectivamente.

CARGAS PARA LOS ESTRATOS 3 Y 4			
PEQUEÑOS ELECTRODOMÉSTICOS	CARGA [W]	UNIDADES	CARGA PARCIAL [W]
Computador	600	1	600
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
Plancha	1.000	1	1.000
TOTAL			4.730

Tabla E-4. Dotación de electrodomésticos para un usuario de estrato 3 y 4.

Aplicación	Equipo	Marca	Modelo	Potencia [W]	Unidades por residencia	Carga Parcial [W]	OBSERVACIONES
Iluminación	Incandescente	Phillips	E27-A55	72	0		
	CFLs	Phillips	CDL E27	20	20		
	C0FLs Deco-globo	Phillips	WWE27	18	21		
	Lámpara de noche	Phillips	Clara	40	5		
Refrigeración	Nevera	Samsung	French Door 710Lt	250	1	250	
Cocina	Tostadora	Bodum	565US	980	1	980	
	Licuadaora	Oster	6854	450	1	450	
	Horno Microondas	Samsung	stena	900	1	900	
	Batidora	Oster	2532	250	1	250	
	Sanduchera	Oster	3885	600	1	600	
	Cafetera	Universal	L65800	550	1	550	
	Exprimidor Eléctrico	Samurai	SA106EL87	300	1	300	
	Triturador de Basura	GE	GFC320V	250	1	250	
Limpieza	Lavadora	Whirlpool	WTW4800XQ	470	1	470	
	Plancha	--	--	1000	1	1000	
	Aspiradora	Electrolux	E-706	900	1	900	
Entretenimiento	TV	Samsung	LCD 630	90	1	90	Stand-by 0.1 w
		Samsung	LCD 450	54	1	54	Stand-by 0.14 w
		Samsung	LCD 450	54	1	54	Stand-by 0.14 w
		Samsung	LN22D450G1F	43	1	43	Stand-by 0.56 w
	Teatro en Casa	Samsung	HT-E5500k	92,2	1	92,2	Stand-by 0.45 w
	Consola de Video	Microsoft	X-Box 360	90	1	90	
	Computador	Dell	Vostro 260s	250	1	250	
	Computador Portátil	Samsung	QX411	60	2	120	
	Audio speaker Docking	Sony	RDP-XA700	30	1	30	
	Mini-Componente	LG	--	20	1	20	1% de stand by según Stanby.ilb.gov
	Cargador de Ipad	Apple	--	10	2	20	5 horas duración de carga
	Cargador de Ipod	Apple	--	10	2	20	4 horas duración de carga

	Cargador Teléfonos- Inteligentes (5)	--	--	10	1	10	3 horas duración de carga
	Modem	Cisco	EPC2425	30	1	30	
	Decodificador TV HD	Echostar	HDT610R	11	4	44	Stand-by 1w
Climatización	Aire Acondicionado Multi Split (3)	LG Mod: LMU247H V	A+B+C	1531	1	1531	
			B+C	1415		0	
			(A o B o C)	1382		0	
			TOTAL			9398,2	

Tabla E-5 Dotación de electrodomésticos para un usuario de estrato 5 y 6.

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

La Tabla E-6 muestra el cálculo de la capacidad instalada para los estratos 3 y 4. Según resultados del anexo B 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.

$$Carga\ parcial = lavado\ y\ planchado + pequeños\ electrodomésticos = 1.500\ VA + 3.230\ VA = 4.730\ VA$$

ESTRATO	DESCRIPCIÓN	CARGA [VA/m ²]	ÁREA [m ²]	CARGA INSTALADA [VA]
3	Carga Alumbrado y General	32	70	2.240
	Lavado y planchado			1.500
	Pequeños electrodomésticos			3.230
	TOTAL			6.970
4	Carga Alumbrado y General	32	85	2.720
	Lavado y planchado			1.500
	Pequeños electrodomésticos			3.230
	TOTAL			7.450
3 Y 4	Carga Alumbrado y General	32	77,5	2.480
	Lavado y planchado			1.500
	Pequeños electrodomésticos			3.230
	TOTAL			7.210

Tabla E-6 Cálculo de la capacidad instalada para los estratos 3, 4 y primer escenario.

La Tabla E-7 muestra el cálculo de la demanda máxima para los estratos 3 y 4

CALCULO DE LA DEMANDA MÁXIMA			
ESTRATO	CARGA INSTALADA [KVA]	FACTOR DE DEMANDA	DEMANDA MÁXIMA [KVA]
3	6,970	0,4	3,688

4	7,450	0,4	3,880
Primer escenario	7,210	0,4	3,784

Tabla E-7 Cálculo de la demanda máxima para los estratos 3, 4 y primer escenario.

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

La Tabla E-8 muestra el cálculo de la capacidad instalada para los estratos 5, 6. Del anexo B se estable el área para el segundo escenario como el promedio entre las áreas de los estratos 5 y 6.

$$\begin{aligned} \text{Carga parcial} &= \text{Aire Acondicionado} + \text{Aparatos y Electrodoméstico} = 1.531 \text{ VA} + 7.867,2 \text{ VA} \\ &= 9.398,2 \text{ VA} \end{aligned}$$

ESTRATO	DESCRIPCIÓN	CARGA [VA/m ²]	ÁREA [m ²]	CARGA INSTALADA [VA]
5	Carga Alumbrado y General	32	107	3.424
	Aire Acondicionado			1.531
	Aparatos y/o electrodomésticos			7.867,2
	TOTAL			12.822,2
6	Carga Alumbrado y General	32	143	4.576
	Aire Acondicionado			1.531
	Aparatos y/o electrodomésticos			7.867,2
	TOTAL			13.974,2
Segundo Escenario	Carga Alumbrado y General	32	125	4.000
	Aire Acondicionado			1.531
	Aparatos y/o electrodomésticos			7.867,2
	TOTAL			13.398,2

Tabla E-8 Cálculo de la capacidad instalada para los estratos 5, 6 y segundo escenario.

La Tabla E-9 muestra el cálculo de la demanda máxima para los estratos 5 y 6.

CALCULO DE LA DEMANDA MÁXIMA			
ESTRATO	CARGA INSTALADA. [KVA]	FACTOR DE DEMANDA	DEMANDA MÁXIMA [KVA]
5	12,822	0,3	4,918
6	13,974	0,3	5,264
Segundo Escenario	13,398	0,3	5,091

Tabla E-9 Cálculo de la demanda máxima para los estratos 5, 6 y segundo escenario.

F. Perfiles de carga diarios y patrones de uso.

En el desarrollo de este anexo se presenta la metodología de conformación del perfil de carga semanal en el contexto tradicional y en el contexto HEMS. El establecimiento de los perfiles parte de la definición de los patrones de uso final hora a hora de la energía eléctrica por electrodoméstico para el usuario de estrato 5-6 definido en el numeral 5.1.2. En la primera sección del anexo se construye el perfil de carga semanal tradicional y en la segunda sección sobre las características del perfil de carga tradicional, se implementa el sistema de gestión energética residencial produciendo un nuevo perfil de carga afectado por el sistema de gestión (Brillion Technology) de GE.

- **Perfil de carga semanal tradicional**

Para la construcción del perfil de carga semanal se establecen cuatro perfiles de carga diarios que combinados como muestra la Tabla F-1 conforman el perfil de carga semanal. El objetivo de establecer cuatro perfiles de carga diferentes es caracterizar la mayoría de las actividades y patrones de consumo que desempeña un usuario durante una semana, brindando así una mejor ejemplificación de las características de consumo que permitirá una implementación más precisa del sistema de gestión.

Perfil	Días a la semana
Día normal	3 días de la semana
Día de lavado y planchado	2 días de la semana
Día sábado	1 día de la semana
Día domingo	1 día de la semana
Total	7 días de la semana

Tabla F-1 Días tipos para la definición de los patrones de uso por electrodoméstico.

a. Patrones de uso por electrodoméstico

Para la definición de los patrones de uso por electrodoméstico se etiqueta cada aparato eléctrico del usuario tipo con un código como se muestra en la Tabla F-2

Aplicación	Equipo	Código	Aplicación	Equipo	Código
Iluminación	Incandescente	IL01	Entretenimiento	TV	EN01
	CFLs	IL02			EN02
	CFLs Deco-globo	IL03			EN03
	Lámpara de Noche	IL04			EN04
Refrigeración	Nevera	RF01		Decodificador	EN05
Cocina	Tostadora	CO01		Teatro en Casa	EN06
	Licuadaora	CO02		Consola de Video	EN07
	Horno Microondas	CO03		Computador	EN08
	Batidora	CO04		Computador Portátil	EN09
	Sanduchera	CO05		Audio speaker Docking	EN10
	Cafetera	CO06		Mini-Componente	EN11
	Exprimidor Eléctrico	CO07		Cargador de Ipad	EN12
	Triturador de Basura	CO08		Cargador de Ipod	EN13
Limpieza	Lavadora	LP01		Cargador de Teléfonos	EN14
	Plancha	LP02		Modem	EN15
	Aspiradora	LP03	Climatización Aire Acondicionado	Unidades (A+B+C)	CL01
				Unidades (B+C)	CL02
				Unidades (A o B o C)	CL03

Tabla F-2 Codificación de los electrodomésticos del usuario tipo.

b. Patrones de uso por iluminación

La iluminación es el primer componente del perfil de carga que se constituye, el procedimiento es el siguiente: primero se establece la cantidad de luminarias por zonas de la casa como expone la Tabla F-3 y segundo se configura la tabla de posibles comportamientos de los usuarios por zona y hora a hora como se presentan en la Tabla F-4.

Por ejemplo para un día normal a las 6:00:00 a.m. se supone que todas las personas del hogar se despiertan y se dirigen a sus respectivos baños para asearse y comenzar con sus respectivas labores, por consiguiente: iluminación de 4 alcobas (4 luminarias), 2 baños (4 luminarias) e iluminación de cocina (2 luminarias) para un total de 10 luminarias.

Zona/Luminaria	CFLs	CFLs DECO GLOBO	Lámpara de noche
Sala Comedor	4	7	0
Alcoba Auxiliar 1	1	0	1
Alcoba Auxiliar 2	1	0	1
Alcoba principal	1	2	2
Alcoba de Servicio	1	0	0
Baño de servicio	1	0	0

Anexo F. Perfiles de carga diarios y patrones de uso.

Baño visitantes	1	2	0
Baño alcobas Auxiliar	1	2	0
Baño Alcoba principal	1	2	0
Cocina	2	2	0
Estudio	1	0	1
Estar TV	1	2	0
Vestier	1	2	0
Balcón	1	0	0
Zona de Ropas	1	0	0
Puerta de Entrada	1	0	0
TOTAL	20	21	5

Tabla F-3 Cantidad de luminarias por zonas del hogar.

HORA	Iluminación Día Normal [Unidades*]			Iluminación Día Lavado y planchado [Unidades*]			Iluminación Día Sábado [Unidades*]			Iluminación Día Domingo [Unidades*]		
	IL02	IL03	IL04	IL02	IL03	IL04	IL02	IL03	IL04	IL02	IL03	IL04
01:00:00 a.m.	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0
02:00:00 a.m.	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0
03:00:00 a.m.	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0
04:00:00 a.m.	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0
05:00:00 a.m.	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0
06:00:00 a.m.	8	2	0	8	2	0	0	0	0	0	0	0
07:00:00 a.m.	9	2	0	9	2	0	2	0	0	1	2	0
08:00:00 a.m.	7	6	0	5	6	0	3	4	0	2	4	0
09:00:00 a.m.	0	2	0	0	2	0	1	2	0	0	0	0
10:00:00 a.m.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11:00:00 a.m.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12:00:00 p.m.	2	2	0	2	2	0	0	2	0	0	0	0
01:00:00 p.m.	1	2	0	1	2	0	0	2	0	0	0	0
02:00:00 p.m.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
03:00:00 p.m.	2	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0
04:00:00 p.m.	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0
05:00:00 p.m.	3	0	0	2	0	0	1	0	0	0	0	0
06:00:00 p.m.	2	4	0	1	4	0	0	0	0	0	0	0
07:00:00 p.m.	5	6	0	5	6	0	3	6	0	3	0	0
08:00:00 p.m.	6	11	0	6	11	0	5	10	0	2	0	0
09:00:00 p.m.	9	10	0	8	10	0	4	10	0	5	7	0
10:00:00 p.m.	6	0	1	6	0	1	4	6	1	4	0	1
11:00:00 p.m.	1	0	3	1	0	3	1	2	1	1	0	2
12:00:00 p.m.	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0

Tabla F-4 Patrones de uso por iluminación- tradicional.

*Cantidad de luminarias encendidas en la respectiva hora.

c. Patrones de uso por refrigeración

La nevera es un electrodoméstico que se mantiene las 24 horas de día, los 7 días de semana encendida.

d. Patrones de uso por pequeños electrodomésticos de la cocina

Los patrones para los pequeños electrodomésticos de la cocina se basan en los posibles hábitos alimenticios asociados a gasto de energía eléctrica; como por ejemplo, la preparación de café todos los días de la semana a las 6:00 a.m. en promedio. Los usos para los electrodomésticos de la cocina se muestran en la Tabla F-5.

HORA	Pequeños Electrodomésticos Día normal [horas]							Pequeños Electrodomésticos Día Lavado y Planchado [horas]						Pequeños Electrodomésticos Día Sábado [horas]						Día Do m CO06	
	CO0 1	CO0 2	CO0 3	CO0 4	CO0 6	CO0 7	CO0 8	CO0 2	CO0 3	CO0 5	CO0 6	CO0 7	CO0 8	CO0 1	CO0 2	CO0 3	CO0 5	CO0 6	CO0 7		
6:00 a.m.	0	0	0	0	0,3	0	0	0	0	0	0,3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,3
7:00 a.m.	0,3	0,2	0	0	0	0,1	0	0	0	0	0,2	0	0	0	0	0	0	0,3	0	0	0
8:00 a.m.	0	0,1	0	0	0	0	0	0,1	0,1	0	0	0	0	0,3	0	0	0	0	0	0,1	0
9:00 a.m.	0	0	0	0,4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,2	0	0	0	0
10:00 a.m.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11:00 a.m.	0	0	0	0	0	0,2	0,1	0	0	0	0	0	0,1	0	0	0	0	0	0	0	0
12:00 p.m.	0	0,2	0,1	0	0	0	0	0,2	0	0	0	0	0	0	0,2	0	0	0	0	0	0
1:00 p.m.	0	0	0	0	0	0	0,1	0	0	0	0	0	0,1	0	0	0	0	0	0	0	0
2:00 p.m.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3:00 p.m.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,2	0	0	0	0	0,1	0	0	0	0	0
4:00 p.m.	0	0	0	0	0	0	0	0	0,1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5:00 p.m.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6:00 p.m.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7:00 p.m.	0	0,2	0	0	0	0	0	0,2	0	0,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8:00 p.m.	0	0,1	0	0	0	0	0	0,1	0	0	0	0	0	0	0,1	0	0	0	0	0	0
9:00 p.m.	0	0	0,1	0	0	0	0	0	0,1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10:00 p.m.	0	0	0	0	0	0	0,1	0	0	0	0	0	0,1	0	0	0	0	0	0	0	0
11:00 p.m.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12:00 p.m.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabla F-5 Patrones de uso por pequeños electrodomésticos de la cocina- tradicional.

* En la Tabla F-5 se presenta el tiempo de consumo de pequeños electrodomésticos a partir de las 6:00 am, para las horas que no se muestra el consumo es nulo.

e. Patrones de uso por limpieza

05:00:00 p.m.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
06:00:00 p.m.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
07:00:00 p.m.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,0
08:00:00 p.m.	0	1,0	0	0	1,0	0	0	0	0	0	0	1,0	0	0	0
09:00:00 p.m.	1,0	0	0	1,0	0	0	0	1,0	0	0	0	0	1,0	0	0
10:00:00 p.m.	0	0,6	0	0	0	1,0	1,0	0	0	0	0	0	0	0	0
11:00:00 p.m.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12:00:00 p.m.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabla F-7 Patrones de uso por climatización- tradicional.

* En la Tabla F-7 se presenta el tiempo de consumo en climatización a partir de las 12:00 pm, para las horas que no se muestra el consumo es nulo.

g. Patrones de uso por entretenimiento

Los patrones del uso de electrodomésticos para entretenimiento se realiza hora-hora para los cuatro diferentes perfiles de carga diarias basados en las características de los usuarios expuestas en el ítem 5.1.2.

HORA	Entretenimiento Día normal [horas]														
	EN01	EN02	EN03	EN04	EN05	EN06	EN07	EN08	EN09	EN10	EN11	EN12	EN13	EN14	EN15
01:00:00 a.m.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	1
02:00:00 a.m.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
03:00:00 a.m.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
04:00:00 a.m.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
05:00:00 a.m.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
06:00:00 a.m.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,3	0	0	0	0	1
07:00:00 a.m.	0	0	0	0	0	0	0	0	0,5	0	0	0	0	0	1
08:00:00 a.m.	0	0	0	0	0	0	0	0	0,2	0	0	0	0	0	1
09:00:00 a.m.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1
10:00:00 a.m.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1
11:00:00 a.m.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1
12:00:00 p.m.	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
01:00:00 p.m.	1	1	0	1	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
02:00:00 p.m.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
03:00:00 p.m.	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1
04:00:00 p.m.	1	0	1	1	3	0	1	0	0	1	0	0	0	0	1
05:00:00 p.m.	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
06:00:00 p.m.	0	0	0	1	1	0	0	1	1	1	0	0	0	0	1
07:00:00 p.m.	1	0	0	0	1	0	0	1	1	1	0	0	0	0	1
08:00:00 p.m.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
09:00:00 p.m.	1	0	1	1	3	0	1	1	0	1	0	2	1	1	1
10:00:00 p.m.	1	1	0	0	2	0	0	1	1	1	0	2	1	1	1
11:00:00 p.m.	0	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0	2	1	1	1
12:00:00 p.m.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	1	0	1

Tabla F-8 Patrones de uso por entretenimiento, días normales -tradicional.

HORA	Entretenimiento Día Lavado y planchado [horas]														
	EN01	EN02	EN03	EN04	EN05	EN06	EN07	EN08	EN09	EN10	EN11	EN12	EN13	EN14	EN15
01:00:00 a.m.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	1

02:00:00 a.m.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
03:00:00 a.m.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
04:00:00 a.m.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
05:00:00 a.m.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
06:00:00 a.m.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,1	0	0	0	0	1
07:00:00 a.m.	0	0,3	0	0	0,3	0	0	0	0,5	0	0	0	0	0	1
08:00:00 a.m.	0	0	0	0	0	0	0	0	0,2	0,0	1	0	0	0	1
09:00:00 a.m.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1
10:00:00 a.m.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
11:00:00 a.m.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
12:00:00 p.m.	0	0	0	0,5	0,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
01:00:00 p.m.	0,5	0	0	0	0,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
02:00:00 p.m.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
03:00:00 p.m.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
04:00:00 p.m.	1	0	1	0	2	0	1	0	0	1	1	0	0	0	1
05:00:00 p.m.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1
06:00:00 p.m.	0	0	0	1	1	0	0	1	1	1	0	0	0	0	1
07:00:00 p.m.	1	0	0	0	1	0	0	1	1	1	0	0	0	0	1
08:00:00 p.m.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
09:00:00 p.m.	1	0	1	1	3	0	1	1	0	1	0	2	1	1	1
10:00:00 p.m.	1	1	0	0	2	0	0	1	0,5	1	0	2	1	1	1
11:00:00 p.m.	0	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0	2	1	1	1
12:00:00 p.m.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	1	0	1

Tabla F-9 Patrones de uso por entretenimiento, días de lavado y planchado- tradicional.

HORA	Entretenimiento Día Sábado [horas]														
	EN01	EN02	EN03	EN04	EN05	EN06	EN07	EN08	EN09	EN10	EN11	EN12	EN13	EN14	EN15
01:00:00 a.m.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
02:00:00 a.m.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
03:00:00 a.m.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
04:00:00 a.m.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
05:00:00 a.m.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
06:00:00 a.m.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,3	0	0	0	0	1
07:00:00 a.m.	0	0,3	0	0	0,3	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1
08:00:00 a.m.	0	1	0,5	0	1,5	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1
09:00:00 a.m.	0	0	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1
10:00:00 a.m.	1	0	1	0	2	0	0	0	0,5	0	0	0	0	0	1
11:00:00 a.m.	1	0	1	1	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
12:00:00 p.m.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
01:00:00 p.m.	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
02:00:00 p.m.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
03:00:00 p.m.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
04:00:00 p.m.	1	0	0	0	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	1
05:00:00 p.m.	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1
06:00:00 p.m.	1	0	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	0	0	1
07:00:00 p.m.	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1
08:00:00 p.m.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
09:00:00 p.m.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1
10:00:00 p.m.	0	1	0	0	1	0	0	0	1	1	0	0	0	1	1
11:00:00 p.m.	0	0,3	0	0	0,3	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1
12:00:00 p.m.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1

Tabla F-10 Patrones de uso por entretenimiento, día sábado- tradicional.

HORA	Entretenimiento Día Domingo [horas]														
	EN01	EN02	EN03	EN04	EN05	EN06	EN07	EN08	EN09	EN10	EN11	EN12	EN13	EN14	EN15
01:00:00 a.m.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	1
02:00:00 a.m.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
03:00:00 a.m.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
04:00:00 a.m.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
05:00:00 a.m.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
06:00:00 a.m.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
07:00:00 a.m.	0	0,3	0	0	0,3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
08:00:00 a.m.	0	0	0,5	0	0,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
09:00:00 a.m.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
10:00:00 a.m.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
11:00:00 a.m.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
12:00:00 p.m.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
01:00:00 p.m.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
02:00:00 p.m.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
03:00:00 p.m.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
04:00:00 p.m.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
05:00:00 p.m.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
06:00:00 p.m.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
07:00:00 p.m.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
08:00:00 p.m.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
09:00:00 p.m.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	1	1
10:00:00 p.m.	0	0,4	0	0	0,4	0	0	1	0,4	0	0	2	1	1	1
11:00:00 p.m.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	1	0	1
12:00:00 p.m.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	1	0	1

Tabla F-11 Patrones de uso por entretenimiento, día domingo- tradicional.

h. Perfiles de carga diarios escenario tradicional

Las anteriores tablas muestran los comportamientos y patrones de uso de la energía eléctrica por electrodoméstico para cada uno de los perfiles de carga diarios que componen el perfil de carga semanal. La Figura F.1 muestra el perfil de carga normal; la Figura F.2 presenta el perfil de carga lavado y planchado y las Figura F.3 y Figura F.4 se observan los perfiles de carga sábado y domingo respectivamente.

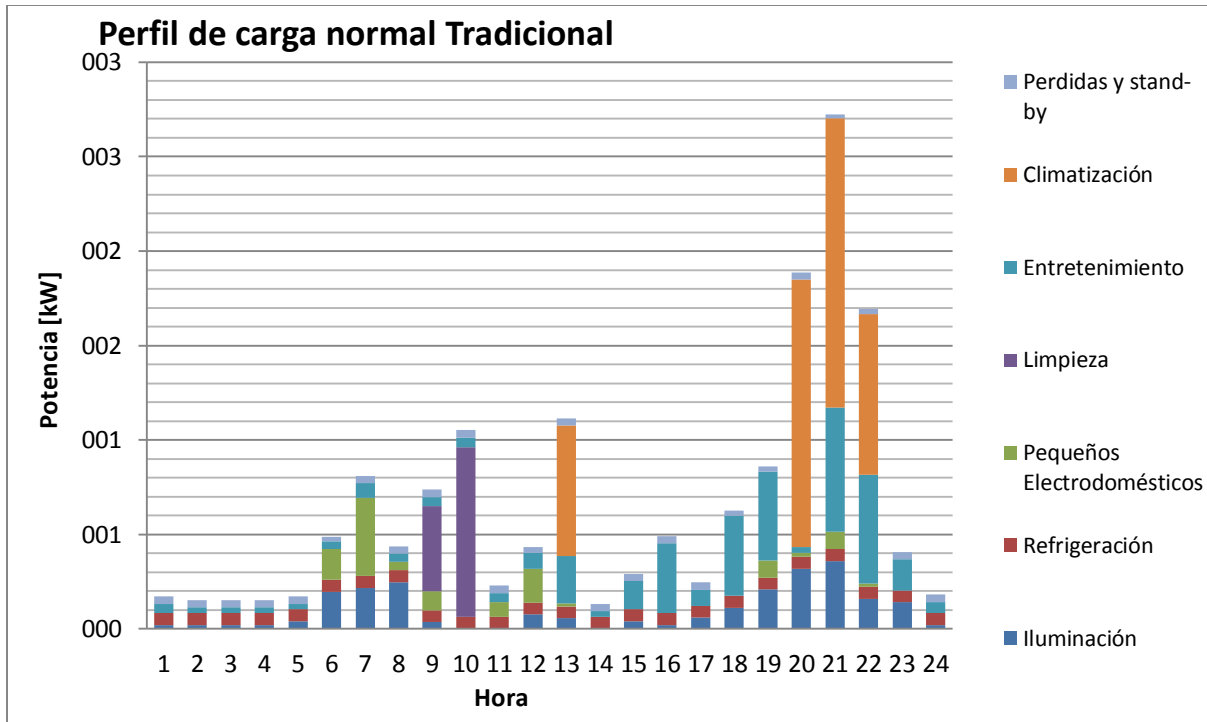


Figura F.1 Perfil de carga normal-tradicional.

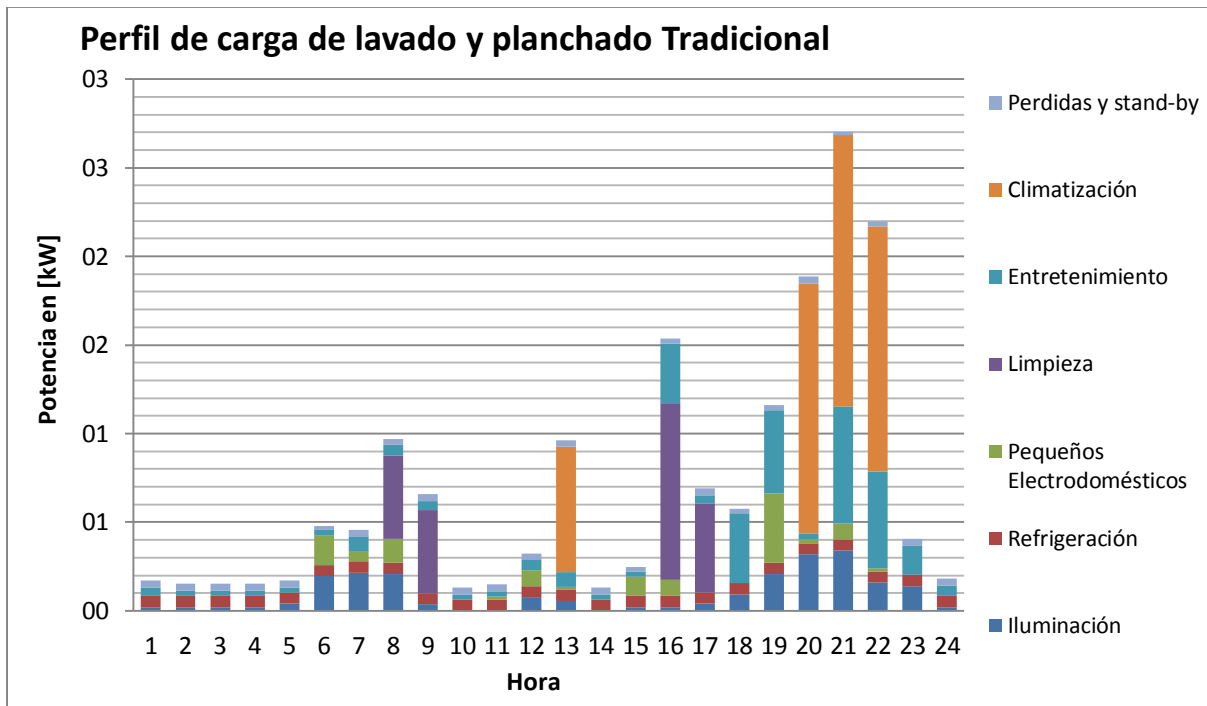


Figura F.2 Perfil de carga lavado y planchado- Tradicional.

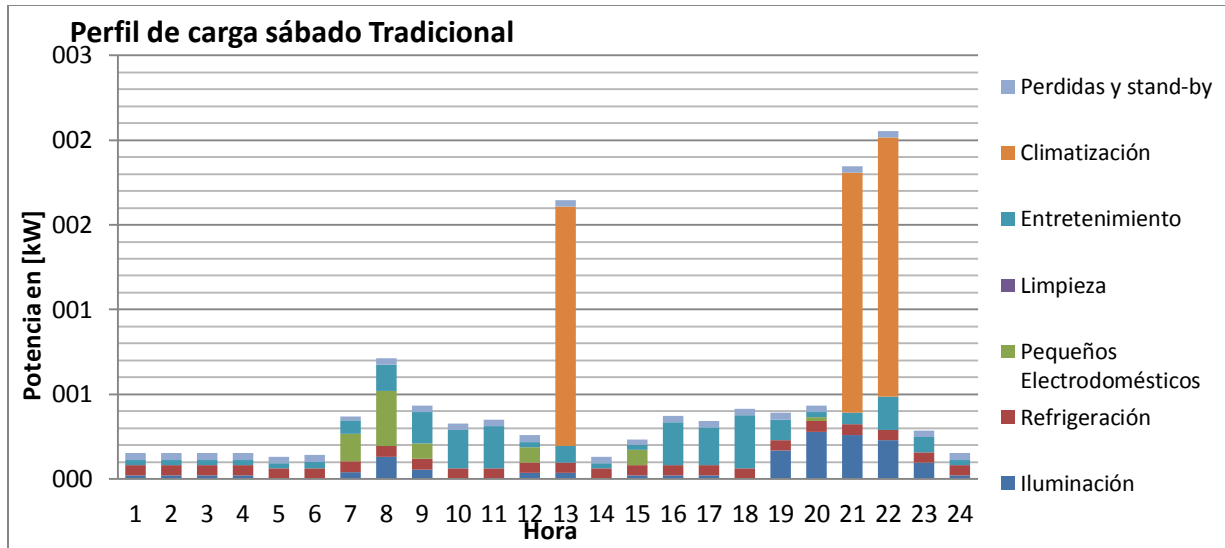


Figura F.3 Perfil de carga sábado- Tradicional.

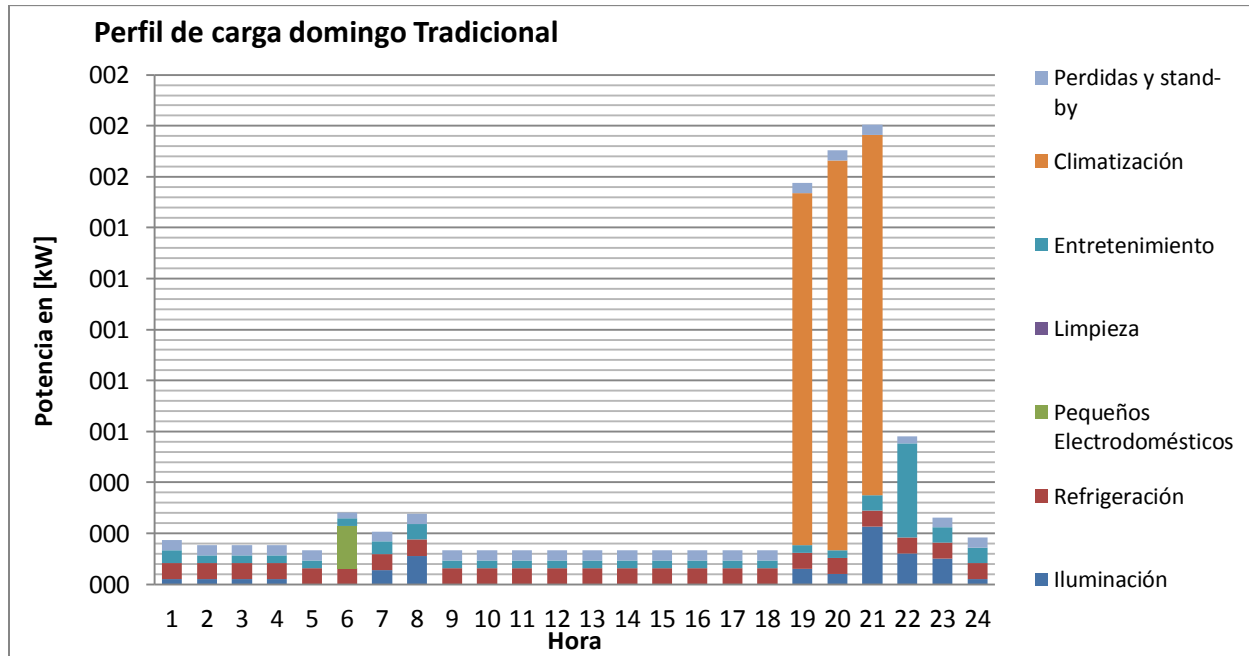


Figura F.4 Perfil de carga domingo- Tradicional.

i. Perfil de carga semanal escenario tradicional.

La Tabla F-12 y la Figura F.5 son el resultado de la combinación de los cuatro perfiles de carga diarios. Los datos expuestos en la Tabla F-12 corresponden a la suma del total por hora de la combinación de los cuatro perfiles que conforman la semana, así por ejemplo en el componente iluminación, el dato de la 1:00 am es la energía en kWh/semana correspondiente a la suma del consumo en kWh de todos los consumo diarios en iluminación a la 1:00 am. La Figura F.5 representa el perfil de carga semanal por aplicación para el ámbito tradicional y se basa en los datos de la Tabla F-12.

Anexo F. Perfiles de carga diarios y patrones de uso.

HORA	Iluminación	Refrigeración	Pequeños Electrodomésticos	Limpieza	Entretenimiento	Climatización	Perdidas y stand-by	
01:00:00 a.m.	0,14	0,44	0,00	0,00	0,33	0,00	0,28	
02:00:00 a.m.	0,14	0,44	0,00	0,00	0,21	0,00	0,28	
03:00:00 a.m.	0,14	0,44	0,00	0,00	0,21	0,00	0,28	
04:00:00 a.m.	0,14	0,44	0,00	0,00	0,21	0,00	0,28	
05:00:00 a.m.	0,20	0,44	0,00	0,00	0,21	0,00	0,28	
06:00:00 a.m.	0,98	0,44	0,99	0,00	0,25	0,00	0,18	
07:00:00 a.m.	1,18	0,44	1,53	0,00	0,53	0,00	0,25	
08:00:00 a.m.	1,40	0,44	0,73	0,94	0,47	0,00	0,26	
09:00:00 a.m.	0,24	0,44	0,39	2,29	0,47	0,00	0,27	
10:00:00 a.m.	0,00	0,44	0,00	2,70	0,47	0,00	0,27	
11:00:00 a.m.	0,00	0,44	0,27	0,00	0,49	0,00	0,27	
12:00:00 p.m.	0,42	0,44	0,81	0,00	0,43	0,00	0,24	
01:00:00 p.m.	0,32	0,44	0,09	0,00	1,04	4,90	0,27	
02:00:00 p.m.	0,00	0,44	0,00	0,00	0,21	0,00	0,28	
03:00:00 p.m.	0,18	0,44	0,31	0,00	0,57	0,00	0,23	
04:00:00 p.m.	0,12	0,44	0,18	2,00	2,07	0,00	0,24	
05:00:00 p.m.	0,28	0,44	0,00	1,00	0,61	0,00	0,27	
06:00:00 p.m.	0,52	0,44	0,00	0,00	2,40	0,00	0,22	
07:00:00 p.m.	1,27	0,44	1,05	0,00	2,51	1,38	0,22	
08:00:00 p.m.	1,91	0,44	0,14	0,00	0,21	8,61	0,28	
09:00:00 p.m.	2,25	0,44	0,45	0,00	3,43	10,49	0,17	
10:00:00 p.m.	1,15	0,44	0,09	0,00	3,39	6,84	0,21	
11:00:00 p.m.	0,90	0,44	0,00	0,00	0,97	0,00	0,27	
12:00:00 p.m.	0,14	0,44	0,00	0,00	0,39	0,00	0,28	Consumo kWh Total Semana
TOTAL DÍA	14,00	10,58	7,01	8,93	22,05	32,22	6,05	100,847
% Del Total	13,88%	10,50%	6,95%	8,86%	21,87%	31,95%	6,00%	100,00%

Tabla F-12 Total de energía consumida hora a hora por aplicación para el ámbito tradicional.

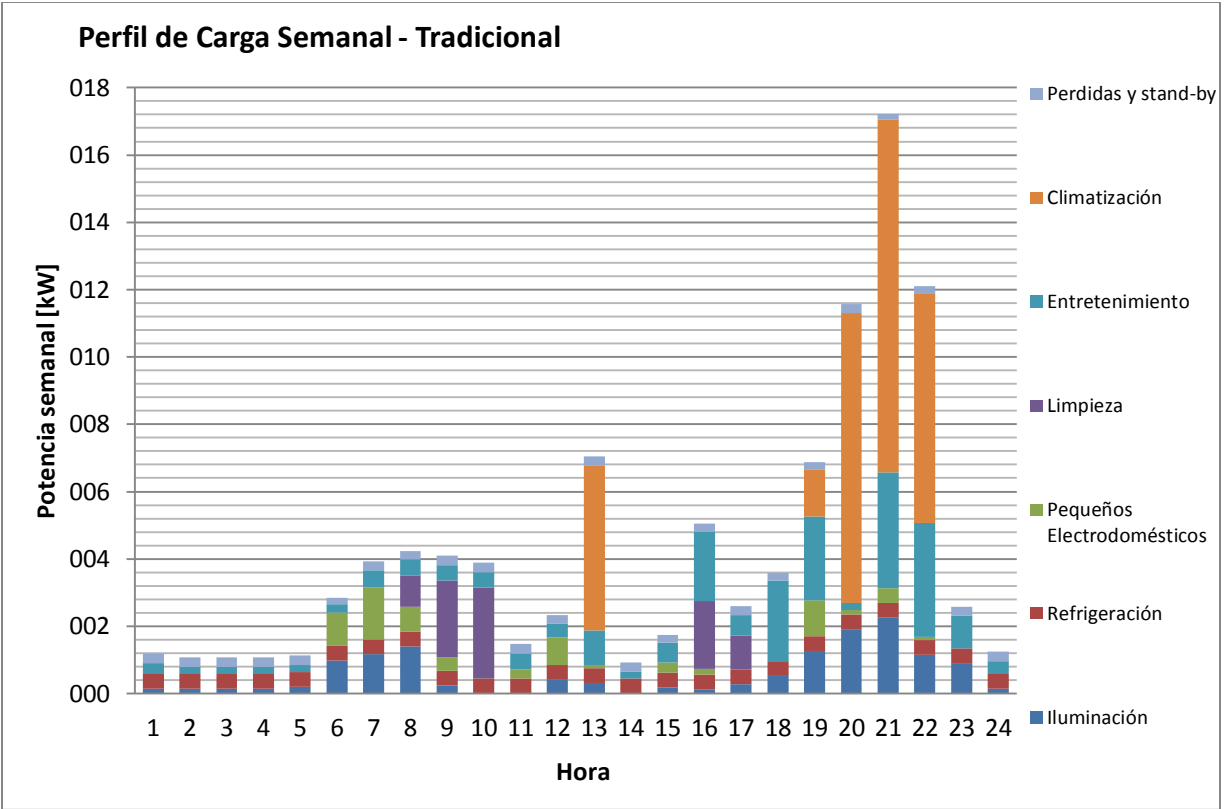


Figura F.5 Perfil de carga semanal- Tradicional.

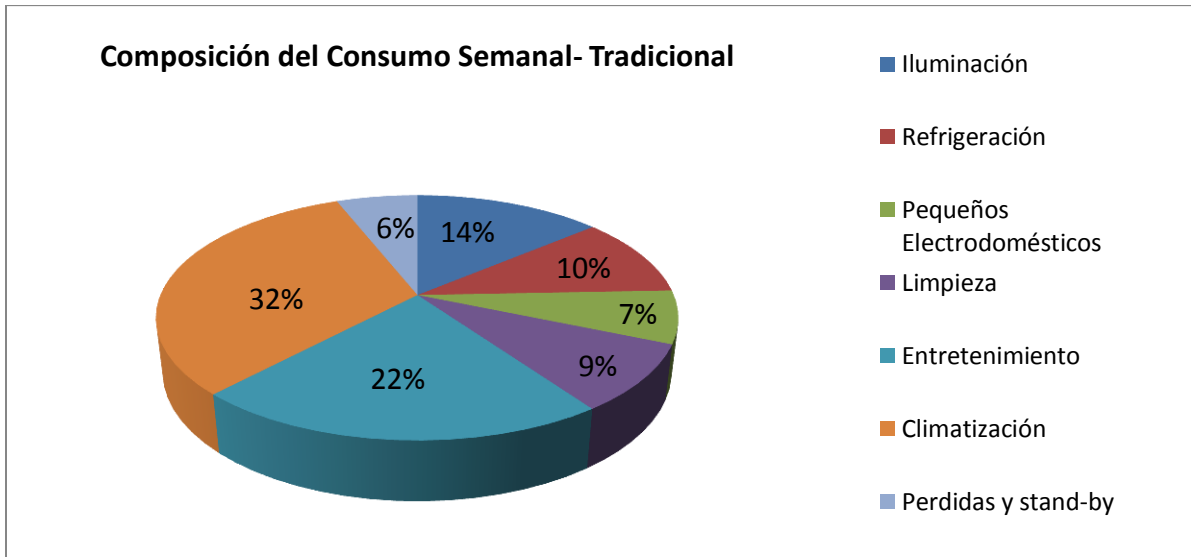


Figura F.6 Composición porcentual por aplicación del consumo de energía eléctrica semanal- Tradicional.

- **Perfil de carga semanal – HEMS**

Para la construcción del perfil de carga semanal afectado por el HEMS se sigue la metodología de la construcción del perfil de carga tradicional, pero en este caso se definen las capacidades y limitaciones en gestión del sistema basados en las funcionalidades definidas en el ítem 5.2 y por las cuales se selecciono la tecnología. Una vez definidas las funcionalidades y limitaciones del sistema, se crean unas herramientas de gestión correspondientes, que permitirán efectuar acciones de gestión hora a hora para cada una de las aplicaciones del usuario, terminando en la construcción de los cuatro perfiles de carga diarios que conforman el perfil de carga semanal-HEMS.

a. Gestión en iluminación

HORA	Iluminación Día normal [unidades*]			Iluminación Lavado y planchado [unidades*]			Iluminación Sábado [unidades*]			Iluminación Domingo [unidades*]		
	IL02	IL03	IL04	IL02	IL03	IL04	IL02	IL03	IL04	IL02	IL03	IL04
01:00:00 a.m.	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0
02:00:00 a.m.	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0
03:00:00 a.m.	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0
04:00:00 a.m.	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0
05:00:00 a.m.	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0
06:00:00 a.m.	8	2	0	8	2	0	0	0	0	0	0	0
07:00:00 a.m.	7	2	0	8	2	0	2	0	0	1	2	0
08:00:00 a.m.	5	1	0	3	2	0	3	2	0	2	4	0
09:00:00 a.m.	0	1	0	0	2	0	1	2	0	0	0	0
10:00:00 a.m.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11:00:00 a.m.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12:00:00 p.m.	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0
01:00:00 p.m.	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
02:00:00 p.m.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
03:00:00 p.m.	2	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0
04:00:00 p.m.	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0
05:00:00 p.m.	2	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0
06:00:00 p.m.	2	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
07:00:00 p.m.	3	5	0	3	6	0	2	5	0	3	0	0
08:00:00 p.m.	4	11	0	5	11	0	4	8	0	2	0	0
09:00:00 p.m.	8	6	1	8	10	0	4	8	0	5	7	0
10:00:00 p.m.	4	0	0	4	0	0	4	2	1	3	0	1
11:00:00 p.m.	1	0	3	1	0	3	1	2	1	1	0	1
12:00:00 p.m.	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0

Tabla F-13 Patrones de uso por iluminación- HEMS.

*Cantidad de luminarias encendidas en la respectiva hora.

b. Gestión en pequeños electrodomésticos cocina

HORA	Pequeños Electrodomésticos Día normal [Horas]							Pequeños Electrodomésticos Día lavado y planchado [Horas]						Pequeños Electrodomésticos Día sábado [Horas]						Día domingo
	CO 01	CO 02	CO 03	CO 04	CO 06	CO 07	CO 08	CO 02	CO 03	CO 05	CO 06	CO 07	CO 08	CO 01	CO 02	CO 03	CO 05	CO 06	CO 07	CO06
06:00a.m.	0	0	0	0	0,3	0	0	0	0	0	0,3	0	0	0	0	0,0	0	0	0	0,3
07:00a.m.	0,3	0,2	0	0	0	0,1	0	0	0	0	0,2	0	0	0	0,0	0	0,3	0	0	0
08:00a.m.	0	0,1	0	0	0	0	0	0,1	0,1	0	0	0	0	0,3	0	0,0	0	0	0,1	0
09:00a.m.	0	0	0	0,4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0	0,2	0	0	0	0
10:00a.m.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0	0	0	0	0	0
11:00a.m.	0	0	0	0	0	0,2	0,1	0	0	0	0	0	0	0	0,0	0	0	0	0	0
12:00p.m.	0	0,2	0,1	0	0	0	0	0,2	0	0	0	0	0	0	0,2	0,0	0	0	0	0
01:00p.m.	0	0	0	0	0	0	0,1	0	0	0	0	0	0,1	0	0,0	0	0	0	0	0
02:00p.m.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0	0	0	0	0	0
03:00p.m.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,2	0	0	0	0,1	0	0	0	0	0
04:00p.m.	0	0	0	0	0	0	0	0	0,1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
05:00p.m.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
06:00p.m.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
07:00p.m.	0	0,2	0	0	0	0	0	0,2	0	0,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
08:00p.m.	0	0,1	0	0	0	0	0	0,1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
09:00p.m.	0	0	0,1	0	0	0	0	0	0,1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10:00p.m.	0	0	0	0	0	0	0,1	0	0	0	0	0	0,1	0	0	0	0	0	0	0
11:00p.m.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12:00:00 p.m.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabla F-14 Patrones de uso por pequeños electrodomésticos de la cocina- HEMS.

* En la Tabla F-14 se presenta el tiempo de consumo de pequeños electrodomésticos a partir de las 6:00 am, para las horas que no se muestra el consumo es nulo.

c. Gestión en limpieza

HORA	Limpieza Día normal [Horas]			Limpieza Día lavado y planchado [Horas]		
	LP01	LP02	LP03	LP01	LP02	LP03
01:00:00 a.m.	0	0	0	0	0	0
02:00:00 a.m.	0	0	0	0	0	0
03:00:00 a.m.	0	0	0	0	0	0
04:00:00 a.m.	0	0	0	1	0,5	0
05:00:00 a.m.	0	0	0	1	1	0
06:00:00 a.m.	0	0	0	0	0	0
07:00:00 a.m.	0	0	0	0	0	0
08:00:00 a.m.	0	0	0	0	0	0
09:00:00 a.m.	0	0	0,3	0	0	0
10:00:00 a.m.	0	0	0,3	0	0	0
11:00:00 a.m.	0	0	0	0	0	0

Tabla F-15 Patrones de uso por limpieza- HEMS.

* En la Tabla F-15 se presenta el tiempo de consumo por limpieza a partir de las 1:00 am hasta 11:00 am, para las horas que no se muestra el consumo es nulo.

d. Gestión en climatización

HORA	Climatización Día normal [Horas]			Climatización Día lavado y planchado [Horas]			Climatización Día sábado [Horas]			Climatización Día domingo [Horas]		
	CL01	CL02	CL03	CL01	CL02	CL03	CL01	CL02	CL03	CL01	CL02	CL03
12:00:00 p.m.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
01:00:00 p.m.	0	0	0,3	0	0,5	0	0	1,0	0	0	0	0
02:00:00 p.m.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
03:00:00 p.m.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
04:00:00 p.m.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
05:00:00 p.m.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
06:00:00 p.m.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
07:00:00 p.m.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
08:00:00 p.m.	0	1	0	0	1,0	0	0	0	0	1	0	0
09:00:00 p.m.	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0	1	0
10:00:00 p.m.	0	0,6	0	0	0	0,5	1	0	0	0	0	0
11:00:00 p.m.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12:00:00 p.m.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabla F-16 Patrones de uso por climatización- HEMS.

* En la Tabla F-16 se presenta el tiempo de consumo por climatización a partir de las 12:00 pm, para las horas que no se muestra el consumo es nulo.

e. Gestión en entretenimiento

HORA	Entretenimiento Día normal [Horas]														
	EN01	EN02	EN03	EN04	EN05	EN06	EN07	EN08	EN09	EN10	EN11	EN12	EN13	EN14	EN15
01:00:00 a.m.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	1	1
02:00:00 a.m.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	1	1	1
03:00:00 a.m.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	1	0	1
04:00:00 a.m.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
05:00:00 a.m.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
06:00:00 a.m.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,3	0	0	0	0	1
07:00:00 a.m.	0	0,3	0	0	0,3	0	0	0	0,5	0	0	0	0	0	1
08:00:00 a.m.	0	0	0	0	0	0	0	0	0,2	0	0	0	0	0	1
09:00:00 a.m.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1
10:00:00 a.m.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1
11:00:00 a.m.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1
12:00:00 p.m.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
01:00:00 p.m.	1	1	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
02:00:00 p.m.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
03:00:00 p.m.	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1
04:00:00 p.m.	1	0	1	1	3	0	1	0	0	1	0	0	0	0	1
05:00:00 p.m.	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
06:00:00 p.m.	0	0	0	1	1	0	0	1	1	1	0	0	0	0	1
07:00:00 p.m.	1	0	0	0	1	0	0	1	1	1	0	0	0	0	1
08:00:00 p.m.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
09:00:00 p.m.	1	0	1	1	3	0	1	1	0	1	0	0	0	0	1
10:00:00 p.m.	0	1	0	0	1	0	0	1	1	1	0	0	0	0	1
11:00:00 p.m.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	2	1	1	1
12:00:00 p.m.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	1	1	1

Tabla F-17 Patrones de uso por entretenimiento, día normal- HEMS.

HORA	Entretenimiento Día lavado y planchado [Horas]
------	--

10:00:00 p.m.	0	1	0	0	1	0	0	0	0,3	0	0	0	0	0	1
11:00:00 p.m.	0	0,3	0	0	0,3	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
12:00:00 p.m.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1

Tabla F-19 Patrones de uso por entretenimiento, día sábado- HEMS.

HORA	Entretenimiento Día domingo [Horas]														
	EN01	EN02	EN03	EN04	EN05	EN06	EN07	EN08	EN09	EN10	EN11	EN12	EN13	EN14	EN15
01:00:00 a.m.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	1	1	1
02:00:00 a.m.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	1
03:00:00 a.m.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	1
04:00:00 a.m.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
05:00:00 a.m.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
06:00:00 a.m.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
07:00:00 a.m.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
08:00:00 a.m.	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
09:00:00 a.m.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
10:00:00 a.m.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
11:00:00 a.m.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
12:00:00 p.m.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
01:00:00 p.m.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
02:00:00 p.m.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
03:00:00 p.m.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
04:00:00 p.m.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
05:00:00 p.m.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
06:00:00 p.m.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
07:00:00 p.m.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
08:00:00 p.m.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
09:00:00 p.m.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
10:00:00 p.m.	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1
11:00:00 p.m.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	1	1	1	1
12:00:00 p.m.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	1	1	1	1

Tabla F-20 Patrones de uso por entretenimiento, día domingo- HEMS.

f. Perfiles de carga diarios con incorporación de HEMS

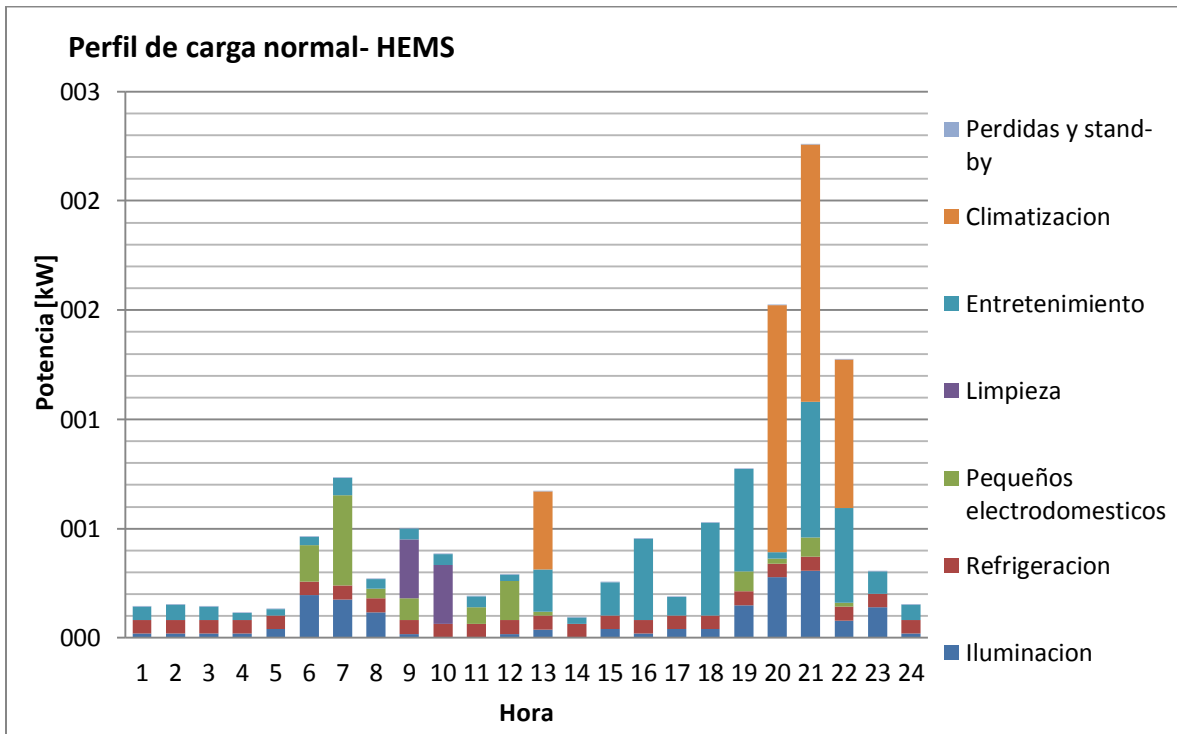


Figura F.7 Perfil de carga normal- HEMS.

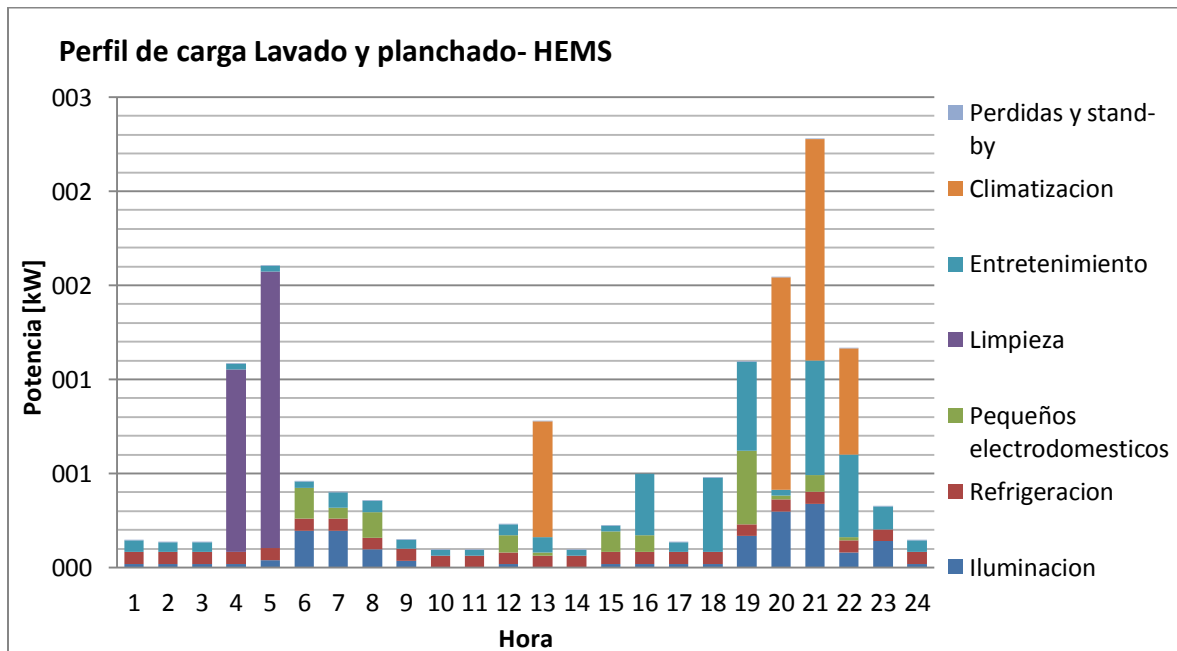


Figura F.8 Perfil de carga lavado y planchado- HEMS.

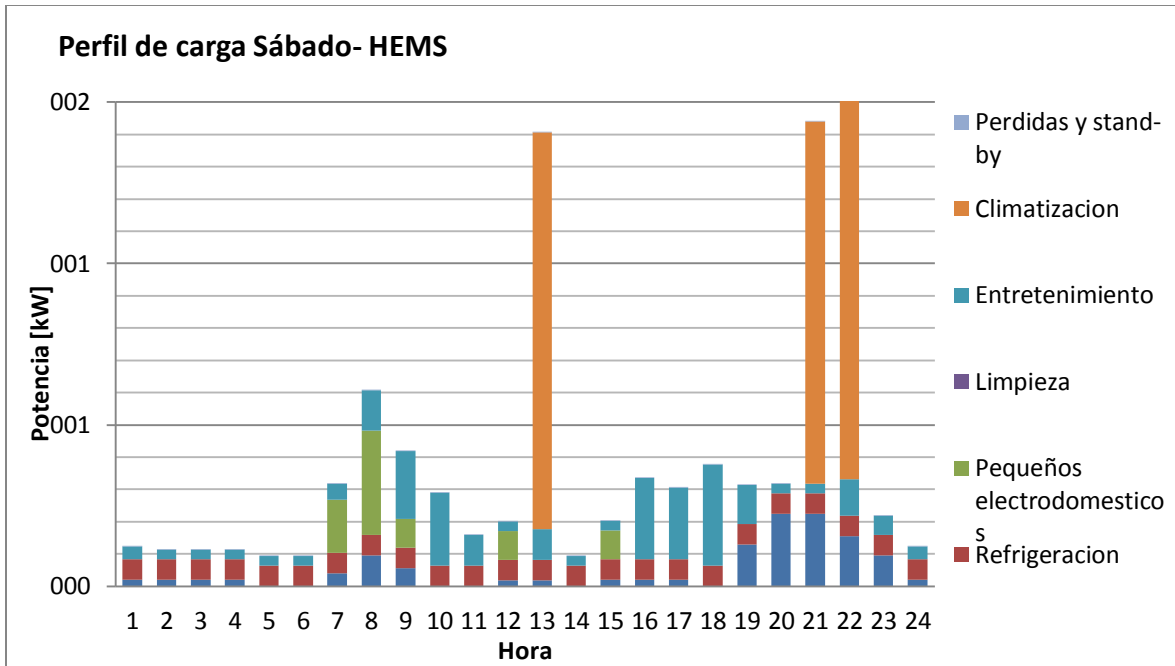


Figura F.9 Perfil de carga sábado- HEMS.

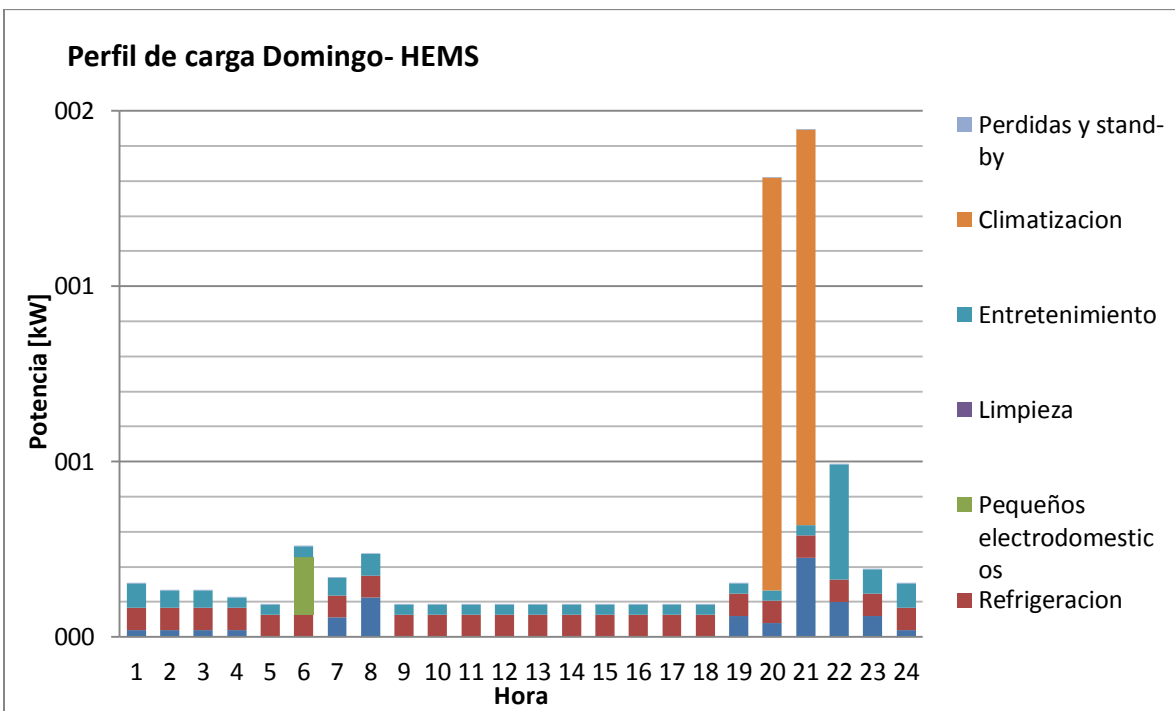


Figura F.10 Perfil de carga domingo- HEMS

g. Perfil de carga semanal con incorporación de HEMS

La Tabla F-21 y Figura F.11, al igual que en perfil de carga tradicional representan la integración de los cuatro perfiles de carga diarios con implementación HEMS que conforman el perfil de carga semanal para el usuario tipo con soporte del sistema de gestión residencial.

HORA	Iluminación	Refrigeración	Pequeños Electrodomésticos	Limpieza	Entretenimiento	Climatización	Perdidas y stand-by	
01:00:00 a.m.	0,14	0,44	0,00	0,00	0,41	0,00	0,00	
02:00:00 a.m.	0,14	0,44	0,00	0,00	0,39	0,00	0,00	
03:00:00 a.m.	0,14	0,44	0,00	0,00	0,36	0,00	0,00	
04:00:00 a.m.	0,14	0,44	0,00	1,94	0,21	0,00	0,00	
05:00:00 a.m.	0,20	0,44	0,00	2,94	0,21	0,00	0,00	
06:00:00 a.m.	0,98	0,44	0,99	0,00	0,24	0,00	0,00	
07:00:00 a.m.	1,02	0,44	1,53	0,00	0,50	0,00	0,00	
08:00:00 a.m.	0,75	0,44	0,73	0,00	0,44	0,00	0,00	
09:00:00 a.m.	0,18	0,44	0,39	0,81	0,49	0,00	0,00	
10:00:00 a.m.	0,00	0,44	0,00	0,81	0,47	0,00	0,00	
11:00:00 a.m.	0,00	0,44	0,23	0,00	0,34	0,00	0,00	
12:00:00 p.m.	0,11	0,44	0,81	0,00	0,26	0,00	0,00	
01:00:00 p.m.	0,13	0,44	0,09	0,00	0,87	3,53	0,00	
02:00:00 p.m.	0,00	0,44	0,00	0,00	0,21	0,00	0,00	
03:00:00 p.m.	0,18	0,44	0,31	0,00	0,57	0,00	0,00	
04:00:00 p.m.	0,12	0,44	0,18	0,00	2,04	0,00	0,00	
05:00:00 p.m.	0,18	0,44	0,00	0,00	0,61	0,00	0,00	
06:00:00 p.m.	0,16	0,44	0,00	0,00	2,40	0,00	0,00	
07:00:00 p.m.	0,98	0,44	1,05	0,00	2,51	0,00	0,00	
08:00:00 p.m.	1,69	0,44	0,11	0,00	0,21	6,82	0,00	
09:00:00 p.m.	2,05	0,44	0,45	0,00	3,14	8,13	0,00	
10:00:00 p.m.	0,66	0,44	0,09	0,00	2,63	4,33	0,00	
11:00:00 p.m.	0,86	0,44	0,00	0,00	0,67	0,00	0,00	
12:00:00 p.m.	0,14	0,44	0,00	0,00	0,44	0,00	0,00	Consumo Total kWh semanal
Total día	10,95	10,58	6,96	6,50	20,62	22,81	0,08	78,499
% del total	13,95%	13,48%	8,86%	8,28%	26,27%	29,06%	0,11%	100,00%

Tabla F-21 Total de energía consumida hora a hora por aplicación para el ámbito HEMS.

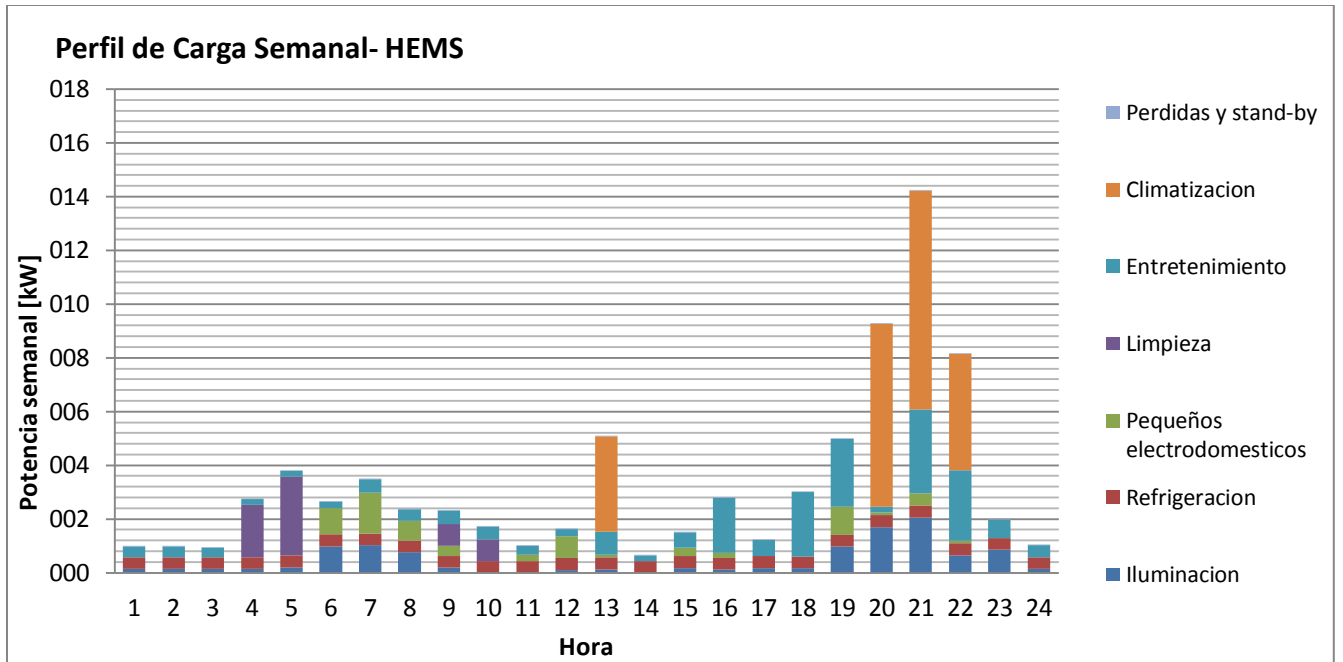


Figura F.11 Perfil de carga seminal- HEMS.

La Figura F.12 representa la composición porcentual por aplicación del consumo de energía eléctrica para el usuario tipo después de la implementación del sistema de gestión.

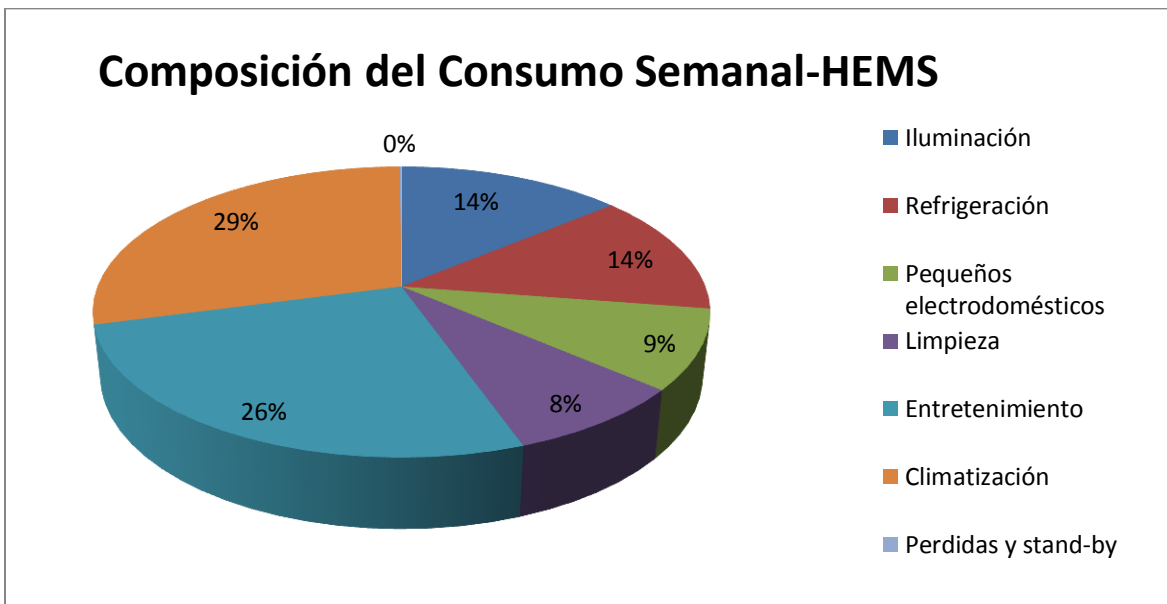


Figura F.12 Composición porcentual por aplicación del consumo de energía eléctrica semanal-HEMS

Referencias bibliográficas

- [1] S. S. S. R. Depuru, L. Wang, and V. Devabhaktuni, "Electricity theft: Overview, issues, prevention and a smart meter based approach to control theft," *Energy Policy*, vol. 39, no. 2, pp. 1007–1015, Feb. 2011.
- [2] Hassan Farhangi, "The Path of the Smart Grid," *IEEE power & energy magazine*, no. february, 2010.
- [3] M. Energ, "Proyección de Demanda de Energía en Colombia," 2010.
- [4] K. Ehrhardt-martinez, J. A. S. Laitner, and K. A. Donnelly, *Beyond the Meter: Enabling Better Home Energy*, no. 2010. Elsevier, 2011, pp. 273–303.
- [5] R. Lutolf, "Smart Home Concept and The Integration of Energy Meters Into a Home Based System," *Landis & Gyr Energy Management Corp., Switzerland*.
- [6] M. A. A. Pedrasa, S. Member, T. D. Spooner, and I. F. Macgill, "Coordinated Scheduling of Residential Distributed Energy Resources to Optimize Smart Home Energy Services," *Energy*, vol. 1, no. 2, pp. 134–143, 2010.
- [7] E. Williams, S. Matthews, M. Breton, and T. Brady, "Use of a Computer-Based System to Measure and Manage Energy Consumption in the Home," *Proceedings of the 2006 IEEE International Symposium on Electronics and the Environment, 2006.*, pp. 167–172, 2006.
- [8] J. Li, J. Y. Chung, J. Xiao, J. W. Hong, and R. Boutaba, "On The Design and Implementation of a Home Energy Management System," *Science And Technology*, 2011.
- [9] Y. Zhao, W. Sheng, J. Sun, W. Shi, and A. S. Meter, "Research and Thinking of Friendly Smart Home Energy System Based on Smart Power," *Appliance*, pp. 4649–4654, 2011.
- [10] S. Rojchaya and M. Konghirun, "Development of energy management and warning system for resident: An energy saving solution," *2009 6th International Conference on Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology*, pp. 426–429, May 2009.
- [11] T. Ueno, R. Inada, S. Osame, and K. Tsuji, "Effectiveness of displaying energy consumption data in residential houses Analysis on how the residents respond," *Panels of ECEEE*, pp. 1289–1299, 2005.
- [12] "Residential Electricity Use Feedback: A Research Synthesis and Economic Framework."
- [13] Unidad de Planeación Minero Energética - UPME, "Proyección de Demanda de Energía en Colombia, Revisión Octubre 2010," *Ministerio de Minas y Energía*, 2010.
- [14] *2010 First IEEE International Conference on Smart Grid Communications.* .

- [15] J. Lamarche, K. Cheney, S. Christian, and K. Roth, "Home Energy Management Products & Trends," 2011.
- [16] J. Stragier, L. Hauttekeete, and L. D. Marez, "Introducing Smart Grids in Residential Contexts : Consumers ' Perception of Smart Household Appliances," pp. 135–142, 2010.
- [17] Electric Power Research Institute (EPRI), "Advanced Metering Infrastructure (AMI)," *Data Management*, 2007.
- [18] R. H. C. G, "Challenges of Advanced Metering Infrastructure Implementation in Colombia," no. Mdm, 2011.
- [19] Z. Luhua, Y. Zhonglin, W. Sitong, Y. Ruiming, Z. Hui, and Y. Qingduo, "Effects of Advanced Metering Infrastructure (AMI) on Relations of Power Supply and Application in Smart Grid," *Power*.
- [20] F. Benzi, N. Anglani, E. Bassi, and L. Frosini, "Electricity Smart Meters Interfacing the Households," *October*, vol. 58, no. 10, pp. 4487–4494, 2011.
- [21] S. S. S. R. Depuru, L. Wang, and V. Devabhaktuni, "Smart meters for power grid: Challenges, issues, advantages and status," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 15, no. 6, pp. 2736–2742, Aug. 2011.
- [22] V. Ricquebourg, D. Menga, D. Durand, B. Marhic, L. Delahoche, and C. Loge, "The Smart Home Concept : our immediate future," *2006 1ST IEEE International Conference on E-Learning in Industrial Electronics*, pp. 23–28, Dec. 2006.
- [23] "Smart home research.pdf." .
- [24] M. Starsinic, "System architecture challenges in the home M2M network," *2010 IEEE Long Island Systems, Applications and Technology Conference*, pp. 1–7, 2010.
- [25] D. Han and J. Lim, "Smart Home Energy Management System using IEEE 802," *Energy*, pp. 1403–1410, 2010.
- [26] C. Lien, Y. Bai, and M. Lin, "Remote-Controllable Power Outlet System for Home Power Management," *Control*, vol. 53, no. 4, pp. 1634–1641, 2007.
- [27] O. Yang-Xin, S. Chun-Yan, J. Hong, and L. Yang, "Research on Smart Appliances Control Protocol," *2010 Second International Workshop on Education Technology and Computer Science*, pp. 551–554, 2010.
- [28] "UtilityAMI 2008 Home Area Network System Requirements Specification," pp. 1–102, 2008.
- [29] J. Nichols and B. a. Myers, "Controlling Home and Office Appliances with Smart Phones," *IEEE Pervasive Computing*, vol. 5, no. 3, pp. 60–67, Jul. 2006.

- [30] M. Inoue, S. Member, T. Higuma, and Y. Ito, "Network Architecture for Home Energy Management System," *Communication*, vol. 49, no. 3, pp. 606–613, 2003.
- [31] M. Grassi, M. Nucci, and F. Piazza, "Towards a semantically-enabled holistic vision for energy optimisation in smart home environments," *Control*, no. April, pp. 11–13, 2011.
- [32] El Congreso de Colombia, "LEY 697 DE 2001_Ley URE," *Ministerio de Minas y Energía*, vol. 2001, no. octubre 3, pp. 3–6, 2001.
- [33] O. PRIAS CAICEDO, "Informe final PROURE," *Ministerio de Minas y Energía*, pp. 16–86, 2010.
- [34] El Presidente De La República De Colombia, "DECRETO 3683 DE 2003," *Ministerio de Minas y Energía*, vol. 2003, no. 45, 2003.
- [35] El Presidente De La República De Colombia, "DECRETO 2501 DE 2007," *Ministerios de Minas y Energía, de Comercio, Industria y Turismo y de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial.*, pp. 2–3, 2007.
- [36] El Presidente De La República De Colombia, "DECRETO 3450 DE 2008," *Ministerio de Minas y Energía*, 2008.
- [37] Ministerio de Minas y Energía, "Resolución 180919 de 2010." 2010.
- [38] Ministerio de Minas y Energía, "Resolución 120 de 2007." 2007.
- [39] Unidad de Planeación Minero Energética - UPME, "Programa Colombiano de Normalización, Acreditación, Certificación y Etiquetado de Equipos de Uso Final de Energía- CONOCE," *UPME*.
- [40] International Organization for Standardization - ISO, "ISO 50001 Gestión de la Energía," 2011.
- [41] Universidad Nacional de Colombia - Facultad de Ciencias, "Determinación del Consumo Final de Energía en los Sectores Residencial Urbano y Comercial y Determinación de Consumos para Equipos Domésticos de Energía Eléctrica y Gas - Informe Final," *UPME*, 2006.
- [42] T E N Recommendations, "Understanding EIA-485 Networks," vol. 1, 1999.
- [43] Texas Instruments, "The Practical Limits of RS-485."
- [44] K. Christensen, P. Riviriego, B. Nordman, M. Bennett, M. Mostowfi, and J. A. Maestro, "IEEE 802.3az: the road to energy efficient ethernet," *IEEE Communications Magazine*, 2010.
- [45] W. H. Chen and W. S. Tseng, "An Agent Model for the Control of Smart Appliances," *NAFIPS 2007 - 2007 Annual Meeting of the North American Fuzzy Information Processing Society*, pp. 95–99, Jun. 2007.

- [46] J. Shao, C. Ortmeyer, and D. Finch, "Smart Home Appliance Control," *2008 IEEE Industry Applications Society Annual Meeting*, pp. 1–6, Oct. 2008.
- [47] I. Moreno and R. I. Tzonchev, "Designing Light-emitting diode arrays for uniform near-field irradiance," vol. 45, no. 10, pp. 2265–2272, 2006.
- [48] Energy Star, "Requiere para CFLs partner Commitments," 2008.
- [49] O. PRIAS CAICEDO, "Programa de Uso Racional y Eficiente de Energía Fuentes no Convencionales -PROURE," 2010.
- [50] Instituto de Hidrología Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM, *ATLAS CLIMATOLÓGICO NACIONAL*. 2010, pp. 10–14, 81–84.
- [51] Corporación Autónoma Regional para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga - CDMB, *Agenda Ambiental del Municipio de Bucaramanga - Resumen Ejecutivo*. 2002.
- [52] Departamento Administrativo Nacional de Estadística - DANE, "Boletín Censo General 2005 Perfil Bucaramanga, Santander," *DANE*, 2005.
- [53] Departamento Administrativo Nacional de Estadística - DANE, "Boletín Censo General 2005 Perfil Medellín, Antioquia," *DANE*, 2005.