GESTIÓN DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA DOMICILIARIA CON BASE EN LA GESTIÓN ACTIVA DE LA DEMANDA

ADRIANA MARCELA VEGA ESCOBAR

UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE DOCTORADO EN INGENIERÍA
ÉNFASIS EN CIENCIA DE LA INFORMACIÓN Y EL CONOCIMIENTO
BOGOTÁ, D.C. ENERO 24 / 2018

GESTIÓN DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA DOMICILIARIA CON BASE EN LA GESTIÓN ACTIVA DE LA DEMANDA

Tesis de grado para optar por el título de Doctor en Ingeniería

Presentada por:

M.Sc ADRIANA MARCELA VEGA ESCOBAR

Director: PhD FRANCISCO SANTAMARIA

Co-Director: PhD EDWIN RIVAS

UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE DOCTORADO EN INGENIERÍA
ÉNFASIS EN CIENCIA DE LA INFORMACIÓN Y EL CONOCIMIENTO
BOGOTÁ, D.C. ENERO 24 - 2018

Comisión de Doctorado

Esta tesis, titulada "GESTIÓN DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA DOMICILIARIA CON BASE EN LA GESTIÓN ACTIVA DE LA DEMANDA", escrita por Adriana Marcela Vega Escobar, ha sido aprobada en cuanto a estilo y contenido intelectual.

Hemos leído esta tesis y la aprobamos,

_____

Doctor WILFRIDO MORENO

_____

Doctor ALIRIO MUJICA

_____

Doctor CESAR TRUJILLO

_____

Doctor FRANCISCO SANTAMARIA Director

_____

Doctor EDWIN RIVAS Codirector

Fecha de la defensa: Enero 24 del 2018

©Derechos de Autor 2018 de Adriana Marcela Vega Escobar
Todos los derechos reservados.

Dedicatoria

A la memoria de mis padres: Roberto y Cecilia.

A mi familia: mi esposo Álvaro, mi hija Adry y Newton,
por su compañía, comprensión y ayuda permanente
en estos años donde el estudio y la investigación
fueron el eje principal de nuestras vidas.

A todos mis hermanos, en especial: Camila, Cristina y, Kike
quienes de una u otra manera me ayudaron
en este proceso de formación.

Agradecimientos

A Dios por la oportunidad que me dio para la realización de mis estudios Doctorales.

A los Doctores, Francisco Santamaría y Edwin Rivas, directores de la tesis por sus orientaciones y aportes en mi proceso de formación y apoyo para la culminación de este proceso.

A todos los miembros que hacen parte del Doctorado, quienes me ayudaron en lo académico y administrativo.

A la Universidad Distrital Francisco José de Caldas, institución que me apoyo en todos los aspectos.

A todos aquellos otros que contribuyeron de alguna manera.

Lista de Siglas y Abreviaturas

AMI	Infraestructura de Medición Avanzada
CF_o	Flujo de Caja inicial
CO_2	Dióxido de Carbono
CPP	Precio Pico Crítico
GAD	Gestión Activa de la Demanda
GEDE	Sistema de Gestión de Energía Eléctrica Domiciliaria
GEDE CFA	GEDE Conmutación de Fuentes de Alimentación
GEDE SCC	GEDE Supervisión y Control de Carga
GEDE UCP	GEDE Unidad Central de Procesamiento
GD	Generación Distribuida
HEMS	Sistemas de Gestión de Energía en el Hogar
HTML	Hyper Text Markup Language
HTTP	Protocolo de Transferencia de Hipertexto
IP	Internet Protocol
MAC	Acceso al Medio Físico
MEM	Mercado eléctrico mayorista
MISO	Master Input Slave Output
MOSI	Master Output Slave Input
OpenADR	Open Automated Demand Response Communication Standards
OSI	Open System Interconnection
PC	Computador Personal
PLC	Comunicación por Línea de potencia
P-Si	Policristalinos de silicio
RD	Respuesta a la Demanda
SI	Sistema Interconectado
SMB	Sistema de Monitoreo de Baterías
SOC	Estado de Carga
SPI	Serial Peripheral Interface
SPV	Sistema Fotovoltaico
TCP/IP	Protocolo de Control de Transmisión.
TIO	Tasa Interna de Oportunidad
TIR	Tasa Interna de Retorno
ToU	Tiempo de Uso
UML	Lenguaje de Modelado Unificado
VPN	Valor Presente Neto

Tabla de Contenido

RESUMEN xii

1. INTRODUCCION 1
- **1.1 Antecedentes** 2
- **1.2 Objetivos** 4
- **1.3 Pregunta problema e hipótesis de la investigación** 5
- **1.4 Metodología y organización de la tesis** 5
- **1.5 Contribución de la investigación** 7

2. MARCO DE REFERENCIA 9
- **2.1 Hábitos de consumo de energía eléctrica para usuarios residenciales** 9
- **2.1.1 Recolección de datos - hábitos de consumo de energía eléctrica** 10
- **2.1.2 Modelos estocásticos de hábitos de consumo de energía eléctrica** 11
- **2.1.3 Desafíos para efectuar modelos de hábitos de consumo energía residencial** 12
- **2.2 Sistemas de Gestión de Energía en el Hogar - (HEMS)** 13
- **2.2.1 Gestión de las Redes Eléctricas Inteligentes** 13
- **2.2.2 Gestión de energía en el hogar** 14
- **2.2.3 Tecnologías para sistemas de gestión energética** 15
- **2.2.4 Control de operación de los sistemas de gestión energética** 15
- **2.3 Gestión eléctrica** 16
- **2.3.1 Gestión activa de la demanda eléctrica** 17
- **2.3.2 Agregador** 18
- **2.4 Discusión del capítulo** 20

3. MODELO ESTOCASTICO PARA PREDICCION Y ANALISIS DE LA CURVA DE DEMANDA 21
- **3.1 Metodología caracterización hábitos de consumo de energía eléctrica** 21
- **3.1.1 Determinar las unidades de análisis** 22
- **3.1.2 Selección métodos de recolección de datos** 24
- **3.1.3 Cálculo del Tamaño de la Muestra** 24
- **3.1.4 Curva de demanda típica de usuarios residenciales del estrato 4** 26
- **3.2 Propuesta del Modelo estocástico de hábitos de consumo de energía eléctrica** 28
- **3.2.1 Adaptación del modelo propuesto** 28
- **3.2.2 Desarrollo del modelo estocástico de hábitos de consumo** 30
- **3.3 Implementación del modelo** 33
- **3.3.1 Proyección de la curva base de energía** 33
- **3.3.2 Escenarios de prueba** 35
- **3.3.3 Resultados Generales** 38
- **3.4 Discusión del capítulo** 41

4. PROTOTIPO DE SISTEMA DE GESTIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA DOMICILIARIA - GEDE 43
4.1 Contextualización prototipos similares 43
4.2 Descripción del prototipo de sistema - GEDE 44
4.2.1 Funcionalidad y diseño Unidad Central Procesamiento GEDE UCP . 45
4.2.2 Funcionalidad y diseño Conmutador Fuentes Alimentación GEDE CFA 48
4.2.3 Funcionalidad y diseño Sistema Supervisión y Control Cargas GEDE-SCC 51
4.2.4 Diseño del Modelo Lógico de Red de comunicación de GEDE 54
4.3 Desarrollo del prototipo del sistema GEDE 54
4.4 Diseño y desarrollo del software para el sistema GEDE 57
4.4.1 Diseño de los subsistemas del software 58
4.4.2 Subsistema Gestión para supervisión, monitoreo y control de señales 59
4.4.3 Desarrollo de la Aplicación WEB 59
4.4.4 Diseño e implementación de la base de datos 62
4.5 Implementación y resultados experimentales del sistema GEDE 64
4.5.1 Calibración de medidas eléctricas 64
4.5.2 Comunicación para GEDE-CFA y GEDE SCC 69
4.5.3 Pruebas de operación del sistema GEDE 72
4.5.4 Comparación de funcionamiento con algunos sistemas de gestión 75
4.6 Discusión del capítulo 77

5. ESTRATEGIAS DE GESTIÓN ACTIVA DE LA DEMANDA 79
5.1 Requerimientos de los escenarios de implementación GAD 80
5.2 Proyección Escenarios de Gestión 83
5.3 Indicadores para el análisis 87
5.4 Resultados de la proyección de los escenarios de gestión 90
5.4.1 Estrategias GAD propuestas 90
5.4.2 Análisis financiero de las estrategias GAD 94
5.4.3 Estrategias GAD y su impacto con el medio ambiente 99
5.5 Discusión del capítulo 99

6. CONCLUSIONES GENERALES 101

7. APORTES 104

8. RECOMENDACIONES Y FUTUROS TRABAJOS 106

9. REFERENCIAS 108

10. APENDICES 117

Lista de Tablas

Tabla 2.1 Resumen Modelos Empirico Probabilístico....12
Tabla 2.2. Sistemas con control automático en entornos residenciales....16
Tabla 3.1 Muestra poblacional – Distribución Normal....25
Tabla 3.2 Elementos modelo estocástico propuesto....29
Tabla 3.3 Consolidado simulaciones escenarios cambios hábitos consumo....39
Tabla 3.4 Proyección ahorro de los escenarios con diferente número de suscriptores....41
Tabla 4.1 Ficha técnica del sistema de gestión GEDE....57
Tabla 4.2 Pruebas de mediciones de parámetros de corriente del ADE7763 No 1....67
Tabla 4.3 Cálculo de constate de energías de dos de los ADE7763....68
Tabla 4.4 Ecuaciones de calibración de tensión y corriente de los ADE7763....69
Tabla 4.5 Tiempo de respuesta control semiautomático....71
Tabla 4.6 Prueba operación semiautomática de los módulos GEDE-SCC....72
Tabla 4.7 Resumen de resultados de las pruebas efectuadas al módulo GEDE-CFA....75
Tabla 4.8 Resumen características algunos sistemas de gestión similares al GEDE....76
Tabla 5.1 Proyección consumo de energía diario estrato 4 de Bogotá....80
Tabla 5.2 Proyección costos generación distribuida fotovoltaica....81
Tabla 5.3 Proyección energía generación distribuida fotovoltaica....82
Tabla 5.4 Análisis de requerimientos para la proyección del Escenario 1....85
Tabla 5.5 Resumen proyección de escenarios....86
Tabla 5.6 Estrategia GAD 1 con GEDE y SPV....91
Tabla 5.7 Estrategia GAD 2 con GEDE, SPV y cambios en los hábitos de consumo....92
Tabla 5.8 Porcentajes de ahorro entre las estrategias GAD propuestas....94
Tabla 5.9 Proyección de recursos al implementar cada una de las estrategias GAD....95
Tabla 5.10 Proyección viabilidad de la inversión....98
Tabla 5.11 Proyección Estrategia GAD con supuesto gubernamental....98
Tabla 5.12 Contribución aproximada con el medio ambiente....99
Tabla 7.1 Artículos en revistas Indexadas....105
Tabla 7.2 Participación en congresos....105

Lista de Figuras

Figura 1.1 Principales características - Modelos de gestión analizados (1970 – 2018).....4
Figura 1.2. Metodología y organización de la tesis 6
Figura 2.1 Aproximación conceptual para el desarrollo del proyecto 9
Figura 2.2 Flujo bidireccional entre redes inteligentes y sistemas eléctricos del hogar ..13
Figura 3.1 Interacción de las Unidades de análisis. 22
Figura 3.2 Porcentaje uso electrodomésticos por horas del estrato 4 en Bogotá. 26
Figura 3.3 Proyección Curva de demanda aproximada del estrato 4 de Bogotá. 27
Figura 3.4 Esquema propuesto del modelo estocástico hábitos de consumo 29
Figura 3.5 Visualización resultados en una simulación del modelo en PowerSim® 33
Figura 3.6 Simulación del modelo sin ningún cambio en los hábitos de consumo 34
Figura 3.7 Comparación de las curvas y la desviación estándar 35
Figura 3.8 Simulación cambio 10% menos en hábitos de consumo iluminación periodos (5:00-7:00 y 18:00-21:00) 37
Figura 3.9 Comparación curva hábitos consumo 10% menos iluminación y curva base 37
Figura 3.10 Variación curva realizando cambios en tecnología de algunos dispositivos 38
Figura 3.11 Variación de los consumos en los escenarios simulados 40
Figura 4.1 Modelo conceptual general del prototipo de sistema GEDE. 44
Figura 4.2 Modelo esquemático Unidad Central de Procesamiento GEDE-UCP. 45
Figura 4.3 Diagrama de bloques diseño Unidad Central Procesamiento. GEDE-UCP ...48
Figura 4.4 Modelo esquemático Sistema Conmutación Fuentes Alimentación CFA 48
Figura 4.5 Diagrama bloques Sistema Conmutador Fuentes Alimentación GEDE-CFA 50
Figura 4.6 Modelo conceptual Sistema Supervisión y Control de Carga-GEDE SCC....52
Figura 4.7 Diagrama bloques Sistema para Control de Carga. GEDE-SCC. 53
Figura 4.8 Modelo Lógico de la Red TCP/IP del Sistema GEDE. 54
Figura 4.9 Fotografía del Sistema GEDE con todos sus módulos. 56
Figura 4.10 Fotografías específicas de los módulos GEDE. 55
Figura 4.11 Diagrama de casos de uso del sistema GEDE. 58
Figura 4.12 Diagrama de actividades del sistema GEDE. 58
Figura 4.13 Página de inicio aplicación GEDE. 59
Figura 4.14. Menú configurar – cargas controladas 60
Figura 4.15. Diagrama estado operación fuentes de alimentación 61
Figura 4.16. Gestión activa de la demanda-Gráficos 62
Figura 4.17 Diagrama relacional base de datos GEDE. 63
Figura 4.18 Protocolo calibración subsistemas medidas GEDE–CFA y GEDE-SCC.....65
Figura 4.19 Regresión lineal y Ecuación para calibrar corriente del ADE 7763 No 1 69
Figura 4.20 Diagrama protocolo pruebas comunicación GEDE-SCC y GEDE- CFA 70
Figura 4.21 Protocolo pruebas de operación del módulo GEDE- CFA 73
Figura 5.1 Elementos para la proyección de los escenarios de gestión 79
Figura 5.2 Periodo uso dispositivos de iluminación 84
Figura 5.3 Indicadores de gestión utilizados 87
Figura 5.4 Indicadores utilizados en la aplicación de software del GEDE 90
Figura 5.5 Curva con los diferentes escenarios aplicando la estrategia GAD2 93

RESUMEN

Los sistemas para la gestión de energía en el hogar (HEMS), han empezado a desempeñar un papel importante en el nuevo contexto energético, debido a la modernización de los sistemas de generación, transmisión, distribución e instalaciones eléctricas de usuarios finales, y a la incorporación de las fuentes de energía renovable en el hogar. Esto contribuye favorablemente en aspectos técnicos, económicos, sociales y ambientales a la mejora de las condiciones de operación para los usuarios residenciales y para el sistema energético en su conjunto, pues permiten realizar operaciones para el monitoreo, supervisión y control de los dispositivos que se conectan en el hogar, permitiendo realizar gestión de los mismos para implementar programas de ahorro de energía en tiempo real y de autogeneración con el fin de implementar estrategias de gestión activa de la demanda (GAD) de energía.

La presente tesis doctoral aborda la gestión de la energía eléctrica domiciliaria según las necesidades del usuario residencial y en concordancia con el entorno, con el fin de aportar a la operación integral del sistema eléctrico con nuevos esquemas para el uso de la energía y participando en la toma de decisiones relacionadas con el consumo y/o generación de energía, con fundamento en estrategias para la GAD a partir de cambios en los hábitos de consumo, lo cual convertirá al usuario en un usuario activo. Para ello se propone un prototipo de sistema de gestión de energía eléctrica domiciliaria, el cual se denominó GEDE, que involucra las tecnologías de la información y las comunicaciones para realizar los procesos de medición de energía en las fuentes de alimentación y en los dispositivos que se quieren gestionar, con el fin de transmitir la información por la línea de potencia a un sistema central, para luego procesarla para actividades de supervisión, monitoreo y control en tres modos: manual, semiautomático y automático, los cuales operan con algoritmos de decisión. El anterior prototipo se ha diseñado e implementado teniendo en cuenta el uso de protocolos de comunicaciones estándar en el contexto del Internet de las Cosas.

Se otorga especial cuidado al análisis de la variable externa social enfocada a cambios en los hábitos de consumo de energía del usuario activo, con el fin de determinar acciones que involucren su interacción con el sistema eléctrico, incluyendo a un agente que se denomina agregador, quien proporciona los medios para proponer estrategias de gestión activa de la demanda domiciliaria, facilitando la interacción entre el usuario y los mercados energéticos. Para esto se implementó un modelo utilizando técnicas de dinámica de sistemas, que incluye el comportamiento típico de los usuarios y posibles cambios en los hábitos de

consumo de energía. Este modelo se aplicó al caso de los usuarios de estrato 4 de la ciudad de Bogotá D.C.

En el proceso de la investigación se unieron los elementos descritos anteriormente, y los resultados obtenidos evidencian que la participación del usuario activo es una oportunidad para contribuir con la operación del Sistema Eléctrico Nacional, bien sea como generador de su propia energía o a través de un cambio en los hábitos de consumo, pero que se requieren ajustes en el marco regulatorio nacional para incentivar su participación.

Palabras Claves: Agregador, Energía renovable, Gestión activa de la demanda, Hábitos de consumo, Sistema de gestión de energía en el hogar, Usuario activo.

ABSTRACT

Home Energy Management Systems (HEMS), are playing an important role in the new energy context, due to the modernization of generation, transmission and distribution systems and final-user facilities, as well as the incorporation of renewable energy sources at home. This contributes favorably in technical, economic, social and environmental aspects to the improvement of the operation conditions for residential users and the electric system, because they allow the monitoring, supervision and control of devices connected at home, which allows to implement real time energy saving programs and self-generation programs as part of Active Demand Management (ADM) strategies.

This doctoral thesis addresses the home energy management according to the needs of the residential user and his/her environment, in order to contribute to the integral operation of the electric system with new schemes for energy use and making decisions related with energy consumption and/or generation based on ADM strategies through changes in consumption habits, transforming the user into an active user. A home energy management system prototype named GEDE is proposed, which involves information and communication technologies to take energy measures in the power sources and devices to be managed, and send the information through the power line to a central system. The information is processed for supervision, monitoring and control activities in three ways: manual, semi-automatic and automatic mode, which operate based on decision algorithms. This prototype was designed and implemented taking into account standard communication protocols in the internet of things context.

Special attention is given to the analysis of the external social variable focused on changes in consumption habits of the active user, to determine actions involving his/her interactions with the electric system, including an agent named aggregator, who provides the means to propose active demand management strategies, facilitating the interaction between the user and the energy market. For this, a model was implemented using systems dynamics techniques, which includes the typical behavior of users and possible changes in energy consumption habits. This model was applied to the case of users of middle-high socio-economic status of the city of Bogota D.C.

In the research process, the elements above were combined, and the results show that the active user participation is an opportunity to contribute with the National Electric System, either as a generator of his/her own energy or through changes in consumption habits, but the national regulatory framework must be adjusted to motivate the participation in these processes.

Keywords: Aggregator, Renewable energy, Active demand management, Consumption habits, Home energy management system, Active user.

1. INTRODUCCION

Las redes eléctricas convencionales de distribución, las cuales transportan energía al usuario residencial, se encuentran en proceso de modernización, al gestarse en ellas cambios de índole tecnológico, financiero y social que apuntan a que el consumidor no sea un simple receptor del servicio, sino que tome decisiones de consumo y/o generación que se adapten a sus necesidades y contribuyan con la gestión activa de la demanda (GAD) (Abbood, Salih, & Muslim, 2017). A partir de esto surgen los sistemas de gestión de energía en el hogar (HEMS), que conectan dispositivos domésticos en red para su gestión y permiten conocer los consumos de energía de los usuarios residenciales (Louis, Caló, Leiviskä, & Pongrácz, 2016).

En la implementación de HEMS inciden variables externas influenciadas por aspectos como: el precio, problemas medio ambientales, el bienestar personal, la confianza en las empresas de servicios o el compromiso para cambiar, las cuales afectan el comportamiento y hábitos de consumo del uso de energía eléctrica del consumidor residencial, lo que puede adicionar más complejidad a la toma de decisiones (Zaeri, Sharda, & Zahedi, 2014). Dependiendo de la manera como sean empleados los HEMS, las variables externas tienen impacto directo sobre ellos, y hay que tenerlas en cuenta para estimaciones más precisas en los estudios que se realicen (Hernandez, L. , et al., 2014).

La gestión del conocimiento juega un papel importante en la variación en los hábitos de consumo, ya que la transferencia de conocimiento, implica compartirlo, utilizarlo, valorarlo y asimilarlo (Valhondo, 2003) (Nonaka, 1991) por parte de los usuarios, lo cual es necesario para producir estas variaciones.

Al utilizar los HEMS por medio de su monitoreo, supervisión y control, el usuario residencial participa en la toma de decisiones de consumo y/o generación de energía, por lo cual se denominará "*Usuario Activo",* contribuyendo en los nuevos escenarios energéticos para obtener beneficios económicos, esto soportado con un agente agregador, quien ayuda en la flexibilidad de la carga contribuyendo con el equilibrio del mercado energético (Ali, et al., 2015). Las iniciativas usadas por estos agentes establecen valoraciones de los contratos con los usuarios, y dependen de la información suministrada por ellos con relación a la demanda y a los recursos de energía con que cuentan (Heleno, Matos, & Pecas, 2016).

1.1 Antecedentes

Un HEMS se emplea para recopilar señales eléctricas de los dispositivos que utilizan medidores inteligentes y sensores, para luego optimizar el suministro y gestión de la energía mediante el uso de esta información (Hung & Huang, 2015). En esta sección se describen algunos de los principales modelos de sistemas de gestión desarrollados desde 1970 al 2018.

Modelos de Gestión para el Hogar propuestos entre 1970 y 2011

En la década de 1970, emplearon sensores integrados infrarrojos que se unían a un circuito personalizado con controles a partir de un microcomputador, su implementación presentaba elevados costos por su tecnología inflexible (Wise, 1981). En 1982, la facultad de Ingeniería de la Universidad de la Florida desarrolló una simulación de optimización de gestión energética de una residencia típica para reducir el costo de la electricidad analizando la estructura de precios y la demanda (Capehart, Muth, & Storin, 1982).

El concepto de computación ubicua se propuso en 1991 por Mark Weiser (Weiser, 1991), donde la persona interactúa naturalmente con los dispositivos en su entorno, el sistema identifica el estado del usuario e interfiere en sus necesidades. En 1999, se implementó una casa denominada "Aware Home" con sensores ultrasónicos y tecnología de radio frecuencia, para efectuar seguimiento a las personas con procesamiento de señales, localización de objetos, entre otras (Cory D, et al., 1999). Grenoble experimental Smart home, implementado en 2003, es una casa inteligente cuyo modelo presenta el comportamiento psicológico y cognitivo de las personas, basándose en un marco de infraestructura informática (Pigot, et al., 2003).

En 2010, Apple presenta una patente en la que usa la red eléctrica de los hogares, con un módulo que muestra los consumos de los dispositivos. Emplea "Home Plug Power line Networking" unido a tecnologías inalámbricas de alta velocidad (Apple, 2010). Posteriormente, Han y Lim proponen un nuevo protocolo de enrutamiento llamado "DMPR (Disjoint multi Sendero Routing Protocol)", basado en el estándar ZigBee / IEEE 802.15.4, que hace parte del Sistema de Gestión de Energía denominado SHEMS (Han & Lim, 2010).

Modelos de Gestión para el Hogar propuestos entre los años 2012 y 2014

iCHEMS se desarrolló en 2012, para gestionar los costos y la implementación de un hogar inteligente verde basado en la predicción de la capacidad de energía renovable (Byun, Hong, & Park, 2012). En el 2013 se presentó el "Balance Autónomo de la Energía de la Carga" (ABLE en inglés), que ofrece retroalimentación de consumos y utiliza información de tarifas de energía para recomendar en que periodos utilizar los electrodomésticos (Kazmi, O'Grady, & O'Hare, 2013). En ese mismo año, el algoritmo de Gestión de energía con fuentes

de energía renovables, brinda beneficios como el ahorro y reducción en el pico de la demanda, utilizando el nivel de carga de las baterías y las tarifas (Boynuegri, Yagcitekin, Bays, Karakas, & Uzunoglu, 2013). Por otra parte, (Yu, Jia, Murphy-Hoye, Pratt, & Tong, 2013) desarrollaron un modelo de optimización dinámico para condiciones térmicas estocásticas en cargas de diferentes características y un modelo predictivo para integrar recursos renovables.

En 2014, Shahgoshtasbi y Jamshidi presentaron el sistema de gestión eléctrica inteligente (iEMS) que tiene dos partes: un subsistema difuso de búsqueda inteligente, que se alimenta con sensores, variables externas, y el comportamiento de los usuarios. La segunda parte es una red neuronal que busca el mejor escenario de eficiencia energética (Shahgoshtasbi & Jamshidi, 2014). Chavali et al, proponen un sistema de respuesta de la demanda para minimizar costos, donde cada usuario encuentra el momento óptimo para el funcionamiento de los aparatos de acuerdo a precios y horarios (Chavali, Yang, & Nehorai, 2014).

Modelos de Gestión para el Hogar propuestos entre los años 2015 y 2018

En 2015, (Zhang, Zhang, Wang, Liu, & Guo, 2015) simularon un modelo de control predictivo, compuesto de recursos energéticos renovables, almacenamiento de energía, vehículo eléctrico y cargas. Se optimiza el uso de la energía, sobre previsiones a corto plazo de generación renovable, demanda de carga y precio de la electricidad. En ese mismo año, (Abushnaf, Rassau, & Górnisiewicz, 2015), presentaron un algoritmo que monitorea y controla electrodomésticos basado en una combinación de modelos de precios de energía incluyendo el tiempo de uso y la tasa de bloqueo cuando varios habitantes están en una casa.

Choi & Xie, realizaron en 2016 un análisis de sensibilidad de HEMS sujeto a: el consumo de energía, temperatura, comodidad, restricciones de funcionamiento de los electrodomésticos y la respuesta a la demanda (Choi & Xie, 2016). Ese mismo año (Rajalingam & Malathi, 2016), desarrollaron y simularon un sistema que tiene: un electrodoméstico, un sistema fotovoltaico con batería, una red de comunicación y un controlador que programa las respuestas a precios, la energía de la batería y el suministro de red.

En 2017, se presenta una arquitectura de HEMS con un algoritmo de control que recibe la información de precios, compra de electricidad en horas pico, gestiona la temperatura de los aparatos térmicos, asegurando que su consumo sea siempre inferior a cierto nivel, además involucra la utilización de recursos renovables (Shakeri, et al., 2017). De igual manera, (Ahmed, et al., 2017), proponen un algoritmo binario de búsqueda para gestionar el consumo de energía en un horario de uso óptimo de los electrodomésticos durante el día con tomacorrientes inteligentes y software de interfaz gráfica. Los electrodomésticos que controlan son: aire acondicionado, calentador de agua, refrigerador y lavadora.

Aunque aún no se encuentra mucha literatura del 2018, los autores (Farmani, Parvizimosaed, Monsef, & Rahimi-Kian, 2018), presentan un sistema de gestión inteligente (SEMS) para su aplicación en una micro-red residencial con recursos de energía distribuida e incluyen sistemas de calefacción y refrigeración para minimizar los costos de operación de la energía del edificio.

La Figura 1.1, presenta un resumen de las principales características descritas por los autores de los modelos de gestión HEMS analizados entre los años 1970 y 2018 (95% componentes de hardware, 91% estrategias para gestión energética, 70% desarrollo de software, 25% importancia del usuario final, y el 7% variable externa – hábitos de consumo).

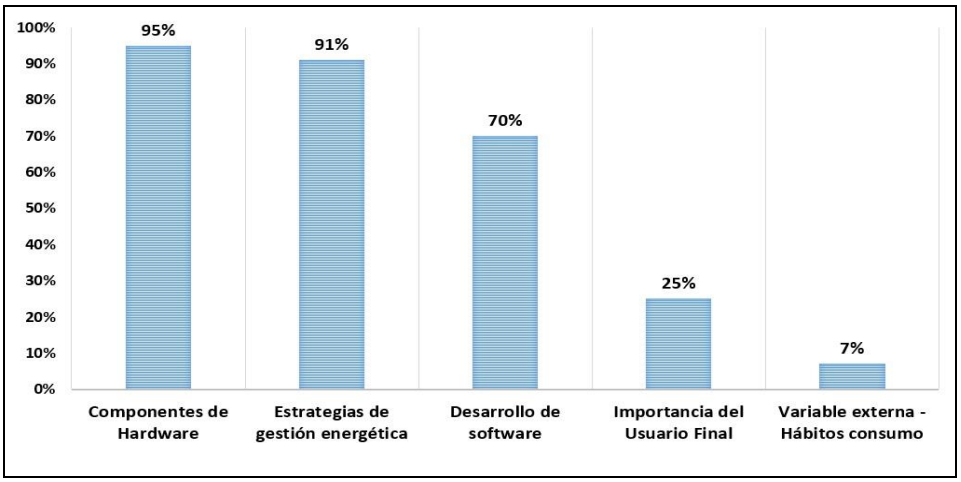


Figura 1.1 Principales características - Modelos de gestión analizados (1970 – 2018).
Fuente: Autora

1.2 Objetivos

Objetivo General

Implementar un sistema de gestión de energía eléctrica basado en estrategias de gestión activa de la demanda eléctrica a partir de hábitos de consumo y precios del mercado con la inclusión de un agregador, para que el usuario domiciliario tome decisiones de consumo y/o generación energética.

Objetivos Específicos

- Caracterizar los hábitos de consumo de usuarios residenciales mediante un modelo estocástico, para establecer las curvas de carga típica que permitan predecir y analizar su comportamiento.
- Proponer un sistema de gestión de energía eléctrica domiciliaria encaminada a que el usuario domiciliario y el agregador interactúen en

diferentes escenarios, soportados en los hábitos de consumo y precios del mercado.
- Evaluar la contribución del sistema de gestión de energía eléctrica domiciliaria para diferentes escenarios con base en indicadores de la gestión activa de la demanda.

1.3 Pregunta problema e hipótesis de la investigación

La pregunta de investigación formulada fue: ¿Cuál herramienta que contribuya con la gestión activa de la demanda eléctrica a partir de hábitos de consumo se debe considerar para que el usuario domiciliario con la ayuda de un agregador tome decisiones de consumo y/o generación en su domicilio?

La hipótesis que se planteó es la siguiente: "Un sistema de gestión de energía eléctrica domiciliaria, soportado en infraestructura, comunicaciones y software, apoyado por un agregador, permite implementar estrategias para la gestión activa de la demanda, teniendo como fundamento los hábitos de consumo, facilita que el usuario domiciliario tome decisiones de consumo y/o generación energética."

1.4 Metodología y organización de la tesis

La investigación se enmarca dentro del énfasis en ciencias de la información y el conocimiento, dado que el sistema de gestión de energía eléctrica domiciliaria involucra aspectos como son los tecnológicos y el procesamiento de los datos para producir información. La metodología se desarrolló a partir de los tres objetivos específicos planteados, teniendo como base la implementación de fases, las cuales se resumen en: fundamentación teórica, caracterización de los hábitos de consumo, propuesta del sistema de gestión de energía eléctrica domiciliaria, proyección de estrategias GAD y pruebas experimentales con sus respectivos resultados; cada una de las fases estuvieron ligadas entre sí para alcanzar el objetivo general. Con relación a la fundamentación teórica, ella hizo parte implícita de cada una de las fases de la investigación desarrollada.

La Figura 1.2 muestra un diagrama a manera de resumen de la metodología, donde se observa la contribución de cada capítulo para la consecución de los objetivos general y específicos. Las uniones realizadas con flechas punteadas corresponden a una correlación recíproca entre actividades. Igualmente se presenta las herramientas de software empleadas en cada capítulo que sirvieron como punto de apoyo para su respectivo desarrollo. En la parte final de la figura se presenta la productividad derivada del proceso de investigación, correspondiente a los artículos en revistas indexadas y a participación en ponencias nacionales e internacionales.

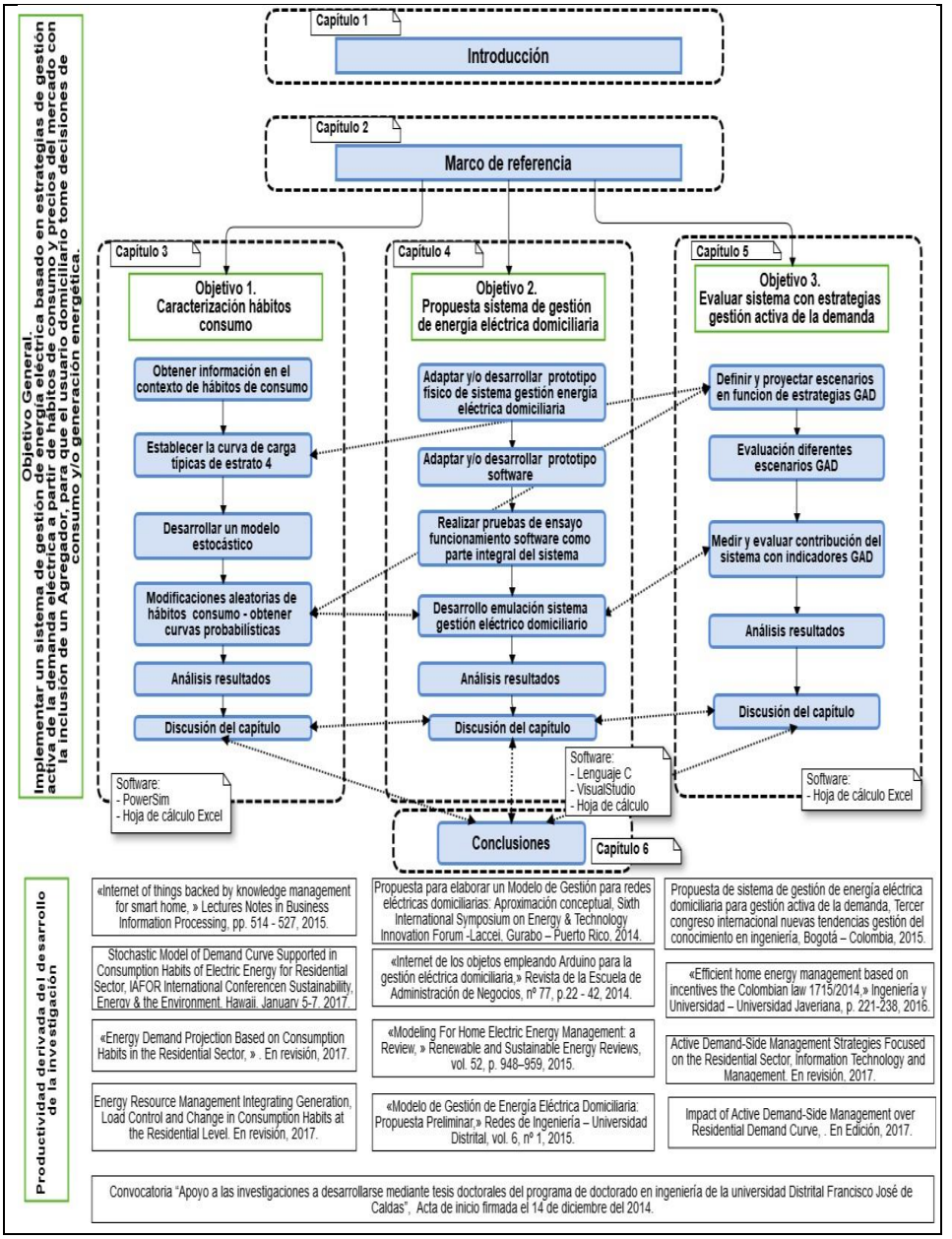


Figura 1.2. Metodología y organización de la tesis
Fuente: Autora

El presente documento se estructura en cinco capítulos principales incluyendo la introducción, donde se presenta una aproximación de los antecedentes del tema desde 1970 hasta 2018, los objetivos, la pregunta e hipótesis de la investigación, la descripción de la metodología desarrollada que se abordó desde el paradigma holístico (Londoño & Marín, 2014), ya que se presentaron diversos procesos cíclicos en cada uno de los objetivos a conseguir, y la organización del documento de la tesis.

El capítulo 2 presenta el marco de referencia donde se expone una aproximación conceptual de los temas involucrados en el desarrollo de la investigación de la siguiente manera: Hábitos de consumo de energía eléctrica, Sistemas de gestión eléctrica en el hogar (HEMS), Gestión activa de la demanda y el agregador.

En el capítulo 3 se encuentra la propuesta de un modelo estocástico para la predicción y análisis de la curva de demanda por medio de la caracterización de los hábitos de consumo de los usuarios activos estrato 4 de la ciudad de Bogotá. Se establecen unidades de análisis para determinar patrones de datos relacionados con los hábitos de consumo para aplicar encuestas con preguntas cerradas y correlacionar su tendencia con el modelo estocástico propuesto, que se diseñó y desarrollo con el software PowerSim®. De igual manera se contrasta la incertidumbre del comportamiento aleatorio en la construcción de diferentes curvas de demanda en el proceso energético domiciliario con la curva de demanda del estrato 4, que fue obtenida a partir de mediciones de consumo en diferentes residencias de este nivel socioeconómico.

El capítulo 4 expone la propuesta de un Sistema de Gestión de Energía Eléctrica Domiciliaria el cual se denomina GEDE, involucrando aspectos internos como es la infraestructura física de dispositivos que lo componen. Así mismo, se presenta el diseñó y desarrolló un prototipo de software de una aplicación web, empleando lenguajes de programación como C® y Visual Studio®, para gestionar el hardware con relación a la captura de parámetros básicos de medidas eléctricas, las cuales permiten consolidar información para que el usuario activo, pueda realizar el monitoreo, supervisión y control de su demanda y/o generación de energía, sentando las bases para efectuar estrategias GAD. De igual manera la aplicación web desarrollada se relaciona con el agregador ya que contiene la información de los posibles recursos de excedentes de energía generada con los que puede realizar transacciones en los mercados energéticos.

En el capítulo 5, están los escenarios relacionados con las proyecciones de energía despachada al sistema eléctrico proveniente de los Usuarios activos, que tienen generación propia de energía. Además, se presentan los beneficios que pueden obtener de acuerdo a los cambios en sus hábitos de consumo y al tipo de control por medio del sistema GEDE. Estos escenarios son ejercicios anticipados de la interacción que puede darse entre el agregador y el usuario activo, en el nuevo contexto que se está formado en el mercado por inyectar a la red los excedentes de energía y tienen como fundamento las estrategias GAD.

1.5 Contribución de la investigación

Las principales contribuciones o aportes de esta tesis son:

- Diseño y desarrollo de una metodología para la caracterización de los hábitos de consumo, la cual se puede replicar en cualquier entorno residencial.

- Diseño y aplicación de una plantilla de encuesta a usuarios residenciales de estrato 4 de la ciudad de Bogotá, cuyos resultados reflejan los hábitos de consumo de energía eléctrica en este sector socio económico.
- Propuesta de proyección aproximada de construcción de la curva de demanda de energía del estrato 4 de la ciudad de Bogotá.
- Diseño y desarrollo del modelo estocástico de hábitos de consumo que refleja los cambios que se pueden presentar en la curva de demanda de acuerdo al comportamiento aleatorio de consumo de los usuarios residenciales analizados.
- Proyección promedio de capacidad instalada y porcentaje de uso de los electrodomésticos de acuerdo a grupos de dispositivos del estrato 4 de la ciudad de Bogotá.
- Propuesta de un proceso de apropiación tecnológica con el prototipo del sistema GEDE, utilizando elementos de bajo costo para implementar tecnologías en el hogar que permitan hacer un mejor uso de la energía, gestionando elementos de la instalación eléctrica con una dirección IP (Internet Protocol) asignada, enfocado al internet de las cosas.
- Las comunicaciones entre los diferentes dispositivos se realizan utilizando el protocolo Power Line Communications – PLC, cuya ventaja es que no necesita cableados adicionales, pues utiliza los mismos de la instalación eléctrica de las viviendas.
- Con el sistema GEDE, cada uno de los usuarios que participen en estrategias de GAD pueden suministrar la información de posibles excedentes al agregador para su consolidación y oferta en bloque.
- Al unir el sistema GEDE junto con las estrategias GAD, se propone que el consumidor pase de ser un simple receptor del servicio a un usuario activo, ya que se consiguen ahorros no solo de energía sino de dinero y contribución con el medio ambiente.
- Se plantea la necesidad de ofrecer incentivos gubernamentales para la adquisición de generación distribuida como política pública de acuerdo a la normatividad en el país, ya que las proyecciones del VPN (Valor Presente Neto) y la TIR (Tasa Interna de Retorno) en diferentes periodos de tiempo, dan valores favorables, con tasas superiores a la tasa de oportunidad representando para la inversión del Usuario activo, un buen comportamiento de su dinero.
- El sistema GEDE en su conjunto es una contribución que se hace a la comunidad científica en lo que tiene que ver con la gestión activa de la demanda, cambio climático y especialmente con los sistemas conocidos como HEMS.

2. MARCO DE REFERENCIA

En este apartado se realiza una aproximación conceptual de los temas involucrados en el desarrollo de la investigación: Hábitos de consumo de energía eléctrica, Sistemas de gestión eléctrica en el hogar, Gestión activa de la demanda y el agregador, ilustrados en la Figura 2.1 resaltados en color verde.

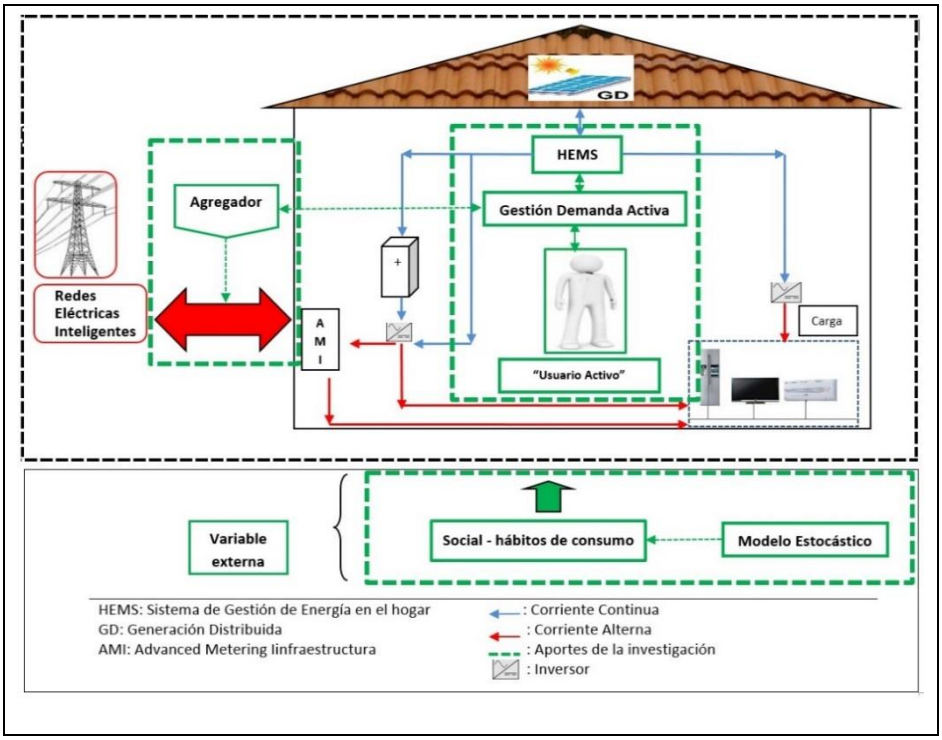


Figura 2.1 Aproximación conceptual para el desarrollo del proyecto
Fuente: Autora

2.1 Hábitos de consumo de energía eléctrica para usuarios residenciales

El sector residencial contribuye en gran medida a la demanda energética global, los usuarios residenciales consumen energía sin ningún tipo de control con respecto a las condiciones de la red de distribución (Priya & Sathish, 2016). Un elemento que incide en la implementación de HEMS es la influencia de variables externas que afectan el comportamiento y hábitos de las personas, lo que puede adicionar una mayor complejidad a la toma de decisiones (Zaeri, Sharda, & Zahedi, 2014). Las conductas humanas y sus hábitos de consumo son

influenciadas por diversos aspectos como el precio, problemas medio ambientales, el bienestar, la confianza en las empresas de servicios públicos domiciliarios o el compromiso para cambiar (Sachdeva & Wallis, 2010).

Las variables externas que afectan el comportamiento de los usuarios pueden clasificarse como conscientes o inconscientes. Los hábitos de consumo son considerados como inconscientes, ya que se llevan a cabo por costumbre, y se basan en información proporcionada directamente por los usuarios de acuerdo a elementos interiores, sin embargo, hay que tener en cuenta que ésta puede ser subjetiva y sesgada por factores como mejoramiento social, prestigio, etc. (KLöckner, Matthies , & Hunecke, 2003).

La Cocreación se define como acciones para involucrar directamente a los consumidores en un proceso de desarrollo del ciclo de vida de un producto o servicio, comprometiéndolos a producir conceptos o ideas que impulsen la innovación (Alves, Fernandes, & Raposo, 2016). Actividades como la co-creación hacen que los usuarios de cualquier servicio contribuyan aportando de forma activa elementos que potencializan los procesos a modo de ventaja competitiva (Lopez, González, & Santos, 2013).

Autores como (Zaeri, Sharda, & Zahedi, 2014), manifiestan que los cambios en el comportamiento energético del usuario influenciado por el precio, seguridad en el proveedor, bienestar, medio ambiente, compromiso para cambiar, conocimiento, y, a veces las emociones, pueden conducir al ahorro de la energía.

2.1.1 Recolección de datos - hábitos de consumo de energía eléctrica

Existen muchos interrogantes en relación con patrones de comportamiento de los usuarios residenciales asociados con el uso de energía, es por eso que la recolección de datos puede ser difícil de obtener (Hiller, 2015). Los métodos de recolección de datos orientados al usuario, donde se analizan variables que afectan su comportamiento, se dividen en dos grupos, el primero se centra en elementos interiores solamente como: actitudes, valores, hábitos y normas personales, y el segundo grupo, sobre aspectos externos del comportamiento como: incentivos, restricciones o normas (Daae & Boks, 2015).

Algunas de las técnicas analizadas para comunicarse con el usuario y obtener datos relacionados con los hábitos de consumo son: entrevistas, grupos focales, encuestas, lluvia de ideas, clasificaciones y la combinación de dos o más. Unas pueden ser más adecuadas que otras, dependiendo de la finalidad y la situación. A continuación se describe cada una de ellas:

- Entrevista: conversación entre los entrevistados y un investigador sobre acciones o motivaciones, para obtener datos detallados con una visión holística del tema (Yue, Long, & Chen, 2013).

- Grupo focal: discusión sobre un tema para obtener consenso, generar ideas, descubrir problema, gustos, aversiones, opiniones, actitudes, preferencias, reacciones y prioridades (Preece, Sharp, & Rogers, 2015).
- Encuestas: preguntas que requieren respuestas directas, a menudo de opción múltiple o calificación en una escala. Como las encuestas pueden ser anónima, son adecuadas para investigar información sensible (Patterson, Darbani, Rezaei, Zacharias, & Yazdizadeh, 2017).
- Lluvia de ideas: análisis relacionado con una lista de prioridades o características acerca de un producto o servicio y es realizado por un grupo de personas (Courage, Baxter, & Caine, 2005).
- Clasificación de tarjetas: se escriben las principales características de un producto en tarjetas para luego clasificarlas en grupos significativos (Baber, et al., 2005).

2.1.2 Modelos estocásticos de hábitos de consumo de energía eléctrica

Los pronósticos de demanda se basan en el conocimiento obtenido de la experiencia usando una técnica adecuada, con datos estáticos y dinámicos que representan un conjunto de variables a los que se les define un valor (Kandil, El-Debeiky, & Hasanien, 2002). Los datos dinámicos sirven para alimentar a los modelos dinámicos, algunos de ellos tienen en cuenta que la demanda depende de la hora del día, pero también en las variables climáticas y otros insumos aleatorios (Hernandez, et al., 2014).

Los modelos de análisis para la curva de demanda eléctrica residencial se han dividido en dos categorías: de arriba hacia abajo "top-down" (Modelos determinísticos) y, los enfoques de abajo hacia arriba "bottom-up" (Modelos estadísticos aleatorios, Modelos empíricos probabilisticos, Modelo estadístico de ingeniería, Modelos híbridos ascendentes) (Grandjean, Adnot, & Binet, 2012).

En los modelos empirico - probabilísticos se define una probabilidad a partir de datos recogidos sobre hábitos de consumo, para generar una diversidad de resultados. En la Tabla 2.1, se presenta un resumen de algunos de los modelos empirico - probabilísticos analizados.

Las investigaciones sobre el comportamiento de consumo de energía proponen dos paradigmas: el financiero que incluye la respuesta de la demanda y el orientado a los hábitos de consumo. La comprensión de este último se considera eficaz para mejorar la eficiencia y conservación de la energía (Zhou & Yang, 2016). En este sentido se requieren modelos que involucran: la parte técnica de la energía, ciencias sociales y tecnologías de la información para reforzar decisiones sobre el consumo de energía que ofrezcan una mejor percepción del contexto a analizar y den realismo al proyectarlos (Li, Pye, & Strachan, 2016).

Autor y Año	Datos entrada	Procesamiento empleado	Datos salida
(Yao & Steemers, 2005)	-Información de ocupación de la vivienda. -Información relacionada con los electrodomésticos -Información de electrodomésticos de calor y/o frio.	Técnica de números aleatorios para la cantidad de electrodomésticos y la presencia en la vivienda de ocupantes.	-Perfil específico diario por aparato. -Curva con presencia de personas en vivienda. -Curva una sola vivienda (se replica).
(Stokes, 2005)	-Curvas demanda individual de nueve dispositivos. -Datos electrodomésticos calefacción y agua caliente. -Características socioeconómicas. -Tasa uso por electrodoméstico. - Demanda potencia máxima anual.	Generación de número aleatorio con función de densidad de Laplace-Gauss. Factor boleano de utilización de los electrodomésticos. Probabilidad de que un evento de demanda de energía ocurra,	-Perfil promedio del total hogares cada 30 minutos en curva de demanda. -Perfil específico hogares cada 30 minutos en curva de demanda. -Perfil específico hogares cada minuto en curva de demanda.
(Richardson, Thomson, Infield, & Clifford, 2010)	-Ocupación vivienda (limitada a 5 personas). -Selección de uso (semana o fin de semana, mes del año). -Datos electrodomésticos. -Tiempo de uso.	Proceso aleatorio selección electrodomésticos (máximo 33). Determinación encendido y utilización por año, por medio de probabilidades y escalar de calibración.	-Perfil de carga de una vivienda por un día.

Tabla 2.1 Resumen Modelos Empirico Probabilístico
Fuente: Autora

2.1.3 Desafíos para efectuar modelos de hábitos de consumo de energía residencial

El sector residencial consume aproximadamente el 40% de energía eléctrica, de tal manera es necesario estimular el comportamiento eficiente de los usuarios con relación a sus hábitos de consumo (Podgornik, Sucic, & Blazic, 2016). Existen muchos estudios sobre crecimiento de la población, pero en la mayoría no están las tasas futuras de urbanización residencial, factor clave para determinar cómo aumenta el consumo de energía eléctrica (Dessens, Anandarajah , & Gambhir, 2016). Sin embargo, (Panos, Densing, & Volkart, 2016) presentan una estimación de acceso a la energía eléctrica en algunos sectores y una evaluación de los impactos relacionados con demanda, precios, inversiones del sistema energético y emisiones de gases de efecto invernadero.

Algunas investigaciones muestran que los antecedentes culturales de las familias marcan de forma significativa los hábitos de consumo de energía (Beunder & Groot, 2015). Sin embargo, cuando los usuarios realizan alguna modificación en sus hábitos de consumo y no se observa impacto significativo en el valor de su

factura vuelven a sus comportamientos habituales (Annala, Viljainen, Tuunanen, & Honkapuro, 2014).

(Wilson & Marselle, 2016), proponen tres factores claves para modificar el comportamiento en los hábitos de consumo como: capacidad, oportunidad y motivación de los usuarios. Otro mecanismo es fomentar la inversión en innovación en el sector residencial, esta medida debe ser extendida a los tipos de paquetes de financiación para adaptar las viviendas con diferentes productos y procesos en beneficio del buen uso de la energía eléctrica (Gooding & Gul, 2016).

2.2 Sistemas de Gestión de Energía en el Hogar - (HEMS)

Las redes inteligentes y la infraestructura de medición avanzada de comunicación bidireccional hacen que las redes domésticas cambien los patrones de uso de la energía eléctrica. Por esto los HEMS juegan un papel importante para mejorar la eficiencia, economía y fiabilidad de la energía (Zhou, et al., 2016).

La incorporación de las redes inteligentes a la cadena de valor de la energía eléctrica (Wade, Taylor, Lang, & Jones, 2010) hace que cambie el concepto de cómo el cliente deja de ser un consumidor pasivo a un *Usuario Activo,* quien participa en la toma de decisiones de consumo y/o generación de energía (Vega, Santamaría, & Rivas, 2015), soportado con un agente agregador, quien ayuda en la flexibilidad de la demanda, contribuyendo con el equilibrio del mercado energético (Ali, et al., 2015). La Figura 2.2, muestra los temas involucrados en este apartado teniendo en cuenta que existe un flujo bidireccional de energía entre ellos (Gestión Redes inteligentes y Gestión Sistemas eléctricos del hogar).

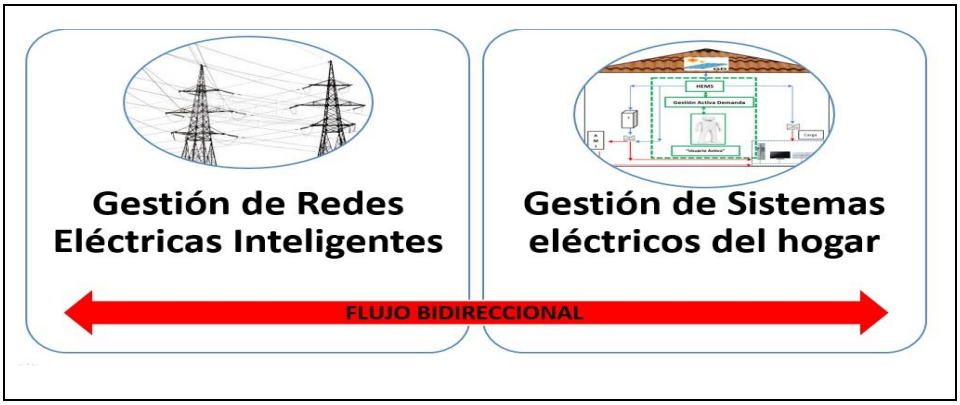


Figura 2.2 Flujo bidireccional entre redes inteligentes y sistemas eléctricos del hogar
Fuente: Autora

2.2.1 Gestión de las Redes Eléctricas Inteligentes

Las redes inteligentes asociadas a la Infraestructura de Medición Avanzada (AMI), surgen como sistemas autosuficientes para lograr una gestión más eficiente de la energía encontrando soluciones a los problemas en tiempo real

(Bayindir, Colak, Fulli, & Demirtas, 2016). Muchos autores han utilizado diferentes modelos para su gestión dentro de los que se destacan:

- Modelo matemático de Kuramoto: Mantener el sistema en equilibrio o la sincronización de fases (Osipov, Kurths, & Zhou, 2007).
- Entropía Máxima. Unión de redes de comunicaciones inalámbricas y la teoría de juegos (Cago, Palazuelos, & Anguas, 2010).
- Sistemas biológicos complejos (Santofimia, Del Toro García, & López, 2011).
- Las Redes neuronales (Hernández, 2013).
- Procesos de Markov. Variabilidad del viento, oferta, demanda, precios, etc, como modelo matemático para unir la energía eólica con las redes inteligentes (Energía y Sociedad, 2014).
- Implementaciones OpenADR (Open Automated Demand Response Communication Standards): Comunicación para aplicaciones de respuesta a la demanda (Lopez & Hernandez, 2015).

Es importante la integración de las nuevas tecnologías basadas en las redes eléctricas inteligentes y los nuevos modelos de negocios que se desarrollan alrededor de éstas, como son: Vehículos conectados a la red o viceversa, servicios de gestión activa de demanda, y las energías renovables, los cuales proveen unión con la cadena de valor de energía eléctrica (Niesten & Alkemade, 2016).

2.2.2 Gestión de energía en el hogar

Los sistemas de gestión de energía en el hogar (HEMS), permiten conectar dispositivos domésticos en red para su gestión remota (Jinsung, Insung, & Sehyun, 2012). Se componen de sensores, sistemas de computación, y redes de comunicación para conocer los consumos de energía con el fin de ver el impacto de la demanda (Louis, Caló, Leiviskä, & Pongrácz, 2016). Sin embargo, hay limitaciones como los altos costos, falta de conocimiento acerca de estos sistemas, además de un limitado número de normas e interfaces de programación para interoperar (Priya & Sathish, 2016).

La utilización adecuada de los HEMS pueden proporcionar mayor flexibilidad y participación activa de los usuarios residenciales a través de la gestión activa de la demanda eléctrica con incentivos económicos (Vallés, Frías, Reneses, & González, 2013).

La participación del usuario residencial demuestra viabilidad en la implementación de sistemas de energía, respondiendo a señales de precios o incentivos económicos, modificando patrones de consumo y/o disminuyendo el mismo en las horas pico o para periodos en los que se tengan costos más bajos (Zhu, Bai , & Meng, 2011). La retroalimentación de la información de energía a los usuarios por medio de HEMS hace que éstos usen más eficientemente la energía reduciendo su demanda eléctrica en las horas pico (Faruqui, Sergici, & Sharif, 2010).

2.2.3 Tecnologías para sistemas de gestión energética

Hay tecnología que facilita el desarrollo de prototipos enfocados a la gestión energética que realizan funciones inherentes a los sistemas de gestión, como por ejemplo: comunicación con dispositivos de medición, comunicación dentro de la red, acciones de monitoreo, control y supervisión, entre otras.

Como parte de estas tecnologías, está el concepto de domótica que se refiere a la automatización de aparatos y sistemas de instalaciones eléctricas (iluminación, climatización, persianas, ventanas, etc.) de forma centralizada y/o remota (Snyder, Gunther, & Griffin, 2012). La domótica apunta a que todos los dispositivos conectados al sistema eléctrico deben ser inteligentes, es decir, controlados dentro de ciertos límites (Moore, 2010), empleando protocolos que pueden ser: estándar abierto (uso libre), estándar bajo licencia (abierto bajo licencia) o propietario (uso exclusivo del propietario) (The Cambridge, 2012).

Dispositivos de medición

La captura de señales que permiten realizar las medidas de consumo de energía eléctrica, es indispensable para los HEMS. Con relación a la corriente, existen desafíos para establecer un umbral preciso de detección y adaptación de las señales bajo condiciones moderadas de ruido Gaussiano (Choi, Shahidul, & Arafat, 2017). En cuanto a las mediciones de potencia, la misma ha estado creciendo para verificar la calidad de las mediciones de energía, además nuevos campos de la industria tales como las baterías para las fuentes de energía renovables requieren mejores técnicas de medición de energía (Domae, Oe, & Kiryu, 2016).

El diseño de instrumentos para medir aparatos eléctricos residenciales conectados al mismo tiempo combina sensores de corriente y tensión detectando la forma de la onda para extraer características de potencia, energía, entre otras (Lai, Lai, Huang, & Chao, 2012). La función de los sensores es de detección, calibración, auto-test, toma de decisiones, comunicación o cualquier combinación de ellos con lo que se obtiene información sobre el consumo de energía en tiempo real (JinSung, Boungiu, Junyoung, Youngil, & Sehyun, 2012).

De igual manera es importante el control de estas señales con infraestructura de medición avanzada para llevar a cabo la gestión de la demanda (Mohassel, Fung, Mohammadi, & Raahemifar, 2014).

2.2.4 Control de operación de los sistemas de gestión energética

La literatura propone los siguientes tipos de control de operación de los HEMS: automático, semiautomático y manual. Con relación a los tipos de control semiautomático y manual, se encuentran varias investigaciones al respecto. En 1977 (Seligman & Darley, 1977), analizaron el uso del aire acondicionado con

retroalimentación con lo que se obtuvo una reducción del 10% del consumo de energía. Los autores (Hutton, Mauser, Filiatrault, & Ahtola, 1986), compararon 92 hogares de Quebec, cuando se observa retroalimentación de los consumos con ahorros del 5%. Darby en el 2000 (Darby, 2000), analiza diferentes tipos de retroalimentación, logrando ahorros del 5%. La Tabla 2.2, muestra algunas investigaciones realizadas en entornos residenciales empleando el control automático.

Año	Investigación	Ahorro del consumo de energía
2005	Análisis del comportamiento de consumo de energía en diez hogares altamente instrumentados (Ueno, Inada, Saeki, & Tsuji, 2005).	Reducción del 12%
2015	Prototipo de sistema que controla, supervisa y diagnostica electrodomésticos de manera eficiente (Putra, Michael, Yudishtira, & Kanigoro, 2015).	Disminución del consumo de energía en 59%.
2015	Analizan la carga térmica empleando HEMS para demostrar los impactos durante la madrugada, la diurna y la noche (Zhao, Dong, Li, & Song, 2015).	Reducción de 4.86%, 4.43%, y 4.15%, respectivamente.
2016	Estudio de investigación de trabajos publicados relacionados con sistemas de gestión de energía (EMS) y su ahorro de energía (Lee & Cheng, 2016).	Reducción en iluminación artificial: 39,5%. Para aire acondicionado y calefacción: 14,07% y 16,66%.
2016	Estrategia para relacionar el costo, la efectividad y el confort, con un HEMS que incluye cargas diferibles y almacenamiento de energía, los autores analizan varios casos de estudio (Huang, Yang, & Wei, 2016).	Caso 1: Reduce el 19,06% Caso 2: Reduce el 28,30% Caso 3: Reduce el 39,90%
2017	Estado del arte de gestión de energía de electrodomésticos a través de control de carga intrusiva y no intrusiva, con automatización para entornos residenciales (Abubakar, Khalid, Mustafa, Shareef, & Mustapha, 2017).	Ahorro del 5-10%

Tabla 2.2. Sistemas con control automático en entornos residenciales
Fuente: Autora

2.3 Gestión eléctrica

El sistema eléctrico necesita mecanismos de corrección para mantener el equilibrio, teniendo en cuenta posibles contingencias en el sistema (Kieny, Berseneff, Hadjsaid, Besanger, & Maire, 2009). Algunas compañías eléctricas a nivel mundial están produciendo electricidad sin rentabilidad ya que durante las horas pico, los usuarios consumen a precios por debajo de los que se cobran en un mercado regulado (Yergin, 2011).

Con la aparición de la red inteligente se plantean nuevos modelos de negocio. En mercados liberalizados los clientes son libres de elegir un distribuidor minorista y un modelo de contrato determinado (Yu, Jia, Murphy-Hoye, Pratt, & Tong, 2013). En un mercado competitivo no regulado, el costo marginal debe ser igual al precio marginal, pero en el mercado de la energía este no es el caso (Muratori, Schuelke Leech, & Rizzoni, 2014). Con un precio de electricidad plana como es el caso de Colombia, los consumidores no tienen ningún incentivo económico para

responder a cambios en los costos de generación, para mejorar esta situación se puede: Almacenar el exceso de electricidad durante los períodos no pico para usarlos en la demanda pico, desregulación del mercado, conservación de energía, educación en eficiencia energética o soluciones técnico-económicas (Borenstein, Jaske, & Ros, 2002).

2.3.1 Gestión activa de la demanda eléctrica

La gestión activa de la demanda eléctrica es un conjunto de estrategias y medidas enfocadas a proporcionar flexibilidad, participación activa de los consumidores a través de incentivos económicos, y permite aumentar la eficiencia del sistema con su uso adecuado, haciendo posible un aplanamiento de la curva de demanda (Vallés, Frías, Reneses, & González, 2013). El usuario residencial es importante para las mejoras en la calidad del servicio en toda la cadena de valor de la energía eléctrica y sus procesos tradicionales (generación, transmisión y distribución) (Emmanuel & Rayudu, 2016), haciendo que pase de ser un receptor del servicio a aportar al sistema valores agregados con procesos bidireccionales, entendiendo el comportamiento de sus consumos de electricidad y sus patrones de uso (Shiraki, Nakamura, Ashina, & Honjo, 2016), adecuándose a las situaciones del sistema y de los servicios complementarios que el mercado ofrece (Institute for electric innovation, 2014).

Programas de gestión activa de la demanda de energía

Los programas GAD se pueden clasificar en programas de incentivos y programas de precios, ambos establecidos por las empresas eléctricas para influir en los cambios de los hábitos de consumo, para aumentar la fiabilidad del sistema (Hung & Huang, 2015). En (Tarish , Hang See, & Elmenreich, 2016), se propone un nuevo esquema de consumo para varios usuarios, administrando los requerimientos de carga para reducir el costo de la factura energética.

Algunos de los programas de GAD donde los usuarios ajustan voluntariamente su consumo de electricidad con base en señales de precios de electricidad basados en el tiempo (Fera, Macchiaroli, Iannone, Miranda, & Riemma, 2016) son:

- Precio Tiempo de uso (ToU): los usuarios pagan los kWh en función del período de consumo (Aalami, Parsa , & Yousefi, 2015)
- Precio Tiempo de uso con precio pico crítico (ToU con CPP): se adiciona un evento crítico de demanda durante un período de tiempo (Wang & Li , 2016).

Con relación a los programas de incentivos GAD, los cuales son estímulos que se le ofrecen a los usuarios con el objetivo de que disminuyan su consumo en determinados periodos (Piette, Brown , Price, Page , & Granderson , 2013), algunos de los propuestos son: Descuentos en hora pico, Control directo de la carga y Programas de oferta de demanda (Montes Ruiz, 2015). Estos unidos a los cambios en los hábitos de consumo proporcionan flexibilidad y participación

activa de los usuarios para aumentar la eficiencia del sistema (Cerezo Moreno, 2010). Algunas de las barreras que existen para su adopción y éxito se deben a la falta de políticas institucionales (Langlois, Benhaddadi, Jegen, & Pineau, 2015).

GAD también se enfoca a programas medio ambientales, es decir, que la variación del nivel de emisiones depende de mezclar diferentes tipos de generación (Holland & Mansur, 2007). Existen diversos métodos para calcular el impacto de las emisiones de dióxido de carbono - CO_2 en el medio ambiente, uno de ellos es el factor de emisión para el ciclo de vida de los paneles policristalinos de silicio (p-Si) fotovoltaicos en su proceso de producción de energía. En el 2000, (Alsema, 2000) plantearon que el factor de emisión para estos módulos era de 50 – 60 g-CO_2/kWh. Para el 2010 los autores (Sherwani , Usmani , & Varun , 2010), en su investigación tomaron un factor de 94 – 104 g-CO_2/kWh. Luego en el 2013, tomaron como base un factor de 23 – 44 g-CO_2/kWh (Peng, Lu, & Yang, 2013). En el 2016, para ese tipo de paneles el factor de emisión promedio es de 56 g-CO_2 / kWh (Nian, 2016). Con relación al factor de emisión de CO_2 del sistema interconectado en Colombia, la normatividad lo estableció para el 2016 en 0,388 Ton de CO_2/MWh (Factor de emisión de gases, 2015).

2.3.2 Agregador

Un agregador es un agente que actúa en nombre de un grupo de consumidores para la compra de energía, venta de servicios auxiliares y proporciona medios para la gestión activa de la demanda, ayudando en la flexibilidad de la carga para contribuir con el equilibrio del mercado (Ali, et al., 2015). Son una entidad legal que tiene un contrato bilateral como comprador de energía con un programa de tarifas negociadas, fijando precios de acuerdo a las necesidades de los usuarios residenciales (Babar, Ahamed, Shah, AI-Ammar, & Malik, 2013). Al reunir un gran número de cargas bajo un solo control, que es el agregador, se aumenta la capacidad de gestión proporcionando regulación al servicio (Erol-Kantarcia, Sarker, & Mouftah, 2014) y su escalabilidad, permitiendo la regulación de producción de energía.

El agregador interactúa con el operador del sistema de distribución, ya sea directamente o, a través de minoristas, de igual manera con clientes conectados a la red de alta tensión (López, et al., 2015). Esta nueva perspectiva genera modelos de negocios energéticos dentro de un contexto normativo basado en: tamaño de la población, flexibilidad para responder a la demanda y el desplazamiento de carga. Además proporciona parámetros al sistema estimulando el crecimiento del mercado y dando rentabilidad (Dave, Sooriyabandara, & Yearworth, 2013), por lo que los consumidores se enfrentan a una tarifa eléctrica variable en tiempo real y participan en los mercados energéticos (Huang, Tushar, Yuen, & Otto, 2015).

Las iniciativas que emplean los agregadores son de tipo regulatorio como leyes y normas generales relacionadas con el uso de la energía eléctrica, además de tener comunicación constante con los usuarios para facilitarles asesoramiento,

capacitación, evaluación comparativa entre otros (Hernandez, et al., 2014). Otros elementos utilizados son los incentivos y desincentivos económicos como subsidios, tasas, impuestos, instrumentos financieros, premios, sanciones, etc (Sajjad, Chicco, Aziz, & Rasool, 2014).

Los enfoques empleados por los agregadores para establecer la estimación de la flexibilidad de los contratos con los usuarios son: de arriba hacia abajo, es decir, sin ninguna información sobre características específicas de cada electrodoméstico, y el segundo enfoque es de abajo hacia arriba, donde se comprende la estructura jerárquica de control de los electrodomésticos (Heleno, Matos, & Pecas, 2016). Con los anteriores enfoques se diseñan contratos como: el cliente paga el precio en tiempo real más un margen, o el cliente paga una cuota por participar (Yu, Jia, Murphy-Hoye, Pratt, & Tong, 2013), que emplean modelos transaccionales de energía ya sea por intercambio donde se reciben las ofertas para el día siguiente, por contrato bilateral o la combinación de los dos primeros (Palizban, Kauhaniemi, & Guerrero, 2014).

Respuesta de la demanda

La respuesta de la demanda (RD), da flexibilidad al control de cargas y proporciona beneficios a los sistemas de energía, haciendo que sea reconocido como una nueva fuente de flexibilidad para la integración de las energías renovables, por lo cual está siendo desarrollada por terceras personas (Barot & Taylor, 2017). La RD son los cambios en el consumo de electricidad con señales de precios de energía y/o incentivos, o en respuesta a la aceptación de las ofertas realizadas de varias maneras: control automático, control por intermedio de un agregador, y control manual de dispositivos (Nyeng, et al., 2013).

Los modelos de RD ofrecen una interacción eficiente entre la demanda de electricidad, suministro, transporte y distribución, aumento de eficiencia al sistema a través del desplazamiento de la carga a otras horas durante el precio pico y, gestión de la red a través de precios diferenciados, reduciendo la necesidad de instalar más capacidad de generación, se disminuyen los costos de generar energía, entre otras (Faruqui, Harris, & Hledik, 2010).

Predicción de Precios

La demanda de energía eléctrica se puede clasificar por períodos de tiempo para predecir el horizonte de la siguiente manera: predicción de carga a muy corto plazo, predicción de carga a corto plazo, predicción de carga a mediano y largo plazo (Hernandez, et al., 2014)**.** Cada usuario debe tener en cuenta la incertidumbre de los precios, sin embargo, la mayoría de modelos de predicción se enfocan en el corto plazo sin transacciones directas, trabajando con precios determinísticos lo cual puede proporcionar resultados engañosos (Calvillo, Sánchez Miralles, Villar, & Martín, 2016).

Los autores (Shafie-khah, Moghaddam, Sheikh-El-Eslami, & Rahmani-Andebili, 2012)**,** proponen los siguientes escenarios de implementación para la predicción de precios: El agregador contrata teniendo en cuenta las incertidumbres, el agregador participa con toda la capacidad de cada usuario, y el agregador realiza contratos basados en la auto-programación utilizando programas de incentivos.

Valores pagados de energía al inyectarla a la red

Varios países han implementado el pago de los excedentes de energía que se pueden inyectar a la red, tal es el caso de Chile, en donde el pago de tarifas a los generadores residenciales con capacidad de hasta 100 kW, por los excedentes tienen un valor cercano al 40% del valor al cual se compra la electricidad (Asociación Chilena de Energía Solar , 2016). En España, el gobierno bonifica el kWh vendido pagándolo a 5,75 veces el costo de compra base si la potencia instalada es menor a 100 kWp (Energy Spain, 2016). Países como el Reino Unido y Dinamarca acogieron políticas, pagando el 50% sobre el precio comercial por excedentes de energía (Arribas González, 2012).

2.4 Discusión del capítulo

El marco de referencia se alimentó durante todo el proceso del desarrollo de la tesis, con varios aportes encontrados en la literatura por autores de diferentes nacionalidades y con un lapso de tiempo comprendido desde 1970 hasta 2018. En el capítulo presentado, se recogen los principales aspectos del marco teórico de referencia que se tuvo en cuenta para la investigación, tocando elementos que se trataron en cada uno de los objetivos establecidos, con lo cual se conoció parte de los antecedentes del contexto de la investigación tratada, desde un punto de vista innovador y original marcando las diferencias con otros estudios, se presentó los instrumentos de medición y el proceso de recolección de datos para dar confiabilidad en los resultados obtenidos para la consecución de los objetivos, al igual que la terminología específica que se involucra. Lo anterior con el fin de entender, aclarar y abstraer de la realidad las definiciones y conceptos que trabajan como supuestos teóricos para facilitar el proceso de exploración del problema presentado.

3. MODELO ESTOCASTICO PARA PREDICCION Y ANALISIS DE LA CURVA DE DEMANDA

En este capítulo se muestra el diseñó y desarrolló de un modelo estocástico para predecir y analizar diferentes comportamientos de una curva de demanda típica, a través de la variación en los hábitos de consumo de usuarios residenciales de la ciudad de Bogotá pertenecientes al estrato 4.

En primera instancia se realiza la caracterización de los usuarios estableciendo unidades de análisis en el contexto de hábitos de consumo de energía y se selecciona el método de recolección de los datos, para lo cual se generaron grupos focales y aplicación de encuestas con preguntas cerradas. Luego se correlaciona la tendencia de las encuestas con una curva de demanda base del estrato 4 obtenida mediante los siguientes mecanismos: medición en el punto común de un conjunto residencial y mediciones de los registros en las viviendas de algunos usuarios. Finalmente se analiza el comportamiento aleatorio en diferentes simulaciones de las curvas de demanda cuando se varían los hábitos de consumo.

3.1 Metodología para la caracterización de hábitos de consumo de energía eléctrica

Los entes reguladores de la gestión de la demanda de energía eléctrica conocen que para remplazar el patrón de consumo de energía, existe un potencial a través de un cambio de comportamiento de las personas influenciado por factores como el bienestar, la comodidad, el compromiso, etc (Zaeri, Sharda, & Zahedi, 2014). Además a través de la co-creación los usuarios aportan elementos para potencializar procesos (Lopez, González, & Santos, 2013). Con la suma de estos dos aspectos se puede lograr un posible ahorro de energía en las residencias.

La metodología para la caracterización de hábitos de consumo de energía eléctrica que se propone está enfocada al estrato 4 residencial de la ciudad de Bogotá, sin embargo, esta metodología se puede replicar en cualquier entorno residencial. Se seleccionó este estrato ya que en el caso Colombiano, no recibe subsidios pero tampoco aporta un valor adicional, como pasa en los estratos 5 y 6 de acuerdo a la Ley 142 de 1994 de Estratificación y Servicios Públicos (Senado República de Colombia, 1994), y se considera constitucionalmente como clase media ya que son la única población que paga un valor real por los servicios públicos.

3.1.1 Determinar las unidades de análisis

Para la caracterización se proponen unidades de análisis con las cuales se establecen las variables de los datos relacionados con los hábitos de consumo para categorizarlos en el momento de proyectar la curva de demanda. Las unidades de análisis propuestas son las siguientes: factores demográficos, hábitos de consumo, elementos económicos relacionados con el servicio de energía eléctrica, relación entre usuario y proveedor del servicio, y otros elementos; su elección se basó en un marco teórico, que abarca motivos económicos, psicológicos y uso de electrodomésticos en una vivienda para la toma de decisiones de consumo energético, lo cual abre otros factores que influyen en la actividad de los hogares, como la interacción social y con el proveedor del servicio (Ek & Soderholm, 2008). En la Figura 3.1, está la interacción de cada una de las unidades de análisis y sus respectivas variables a considerar, en este capítulo solo se tendrán en cuenta las relacionadas con los factores demográficos y los hábitos de consumo, las demás se involucran en los otros objetivos de la presente investigación.

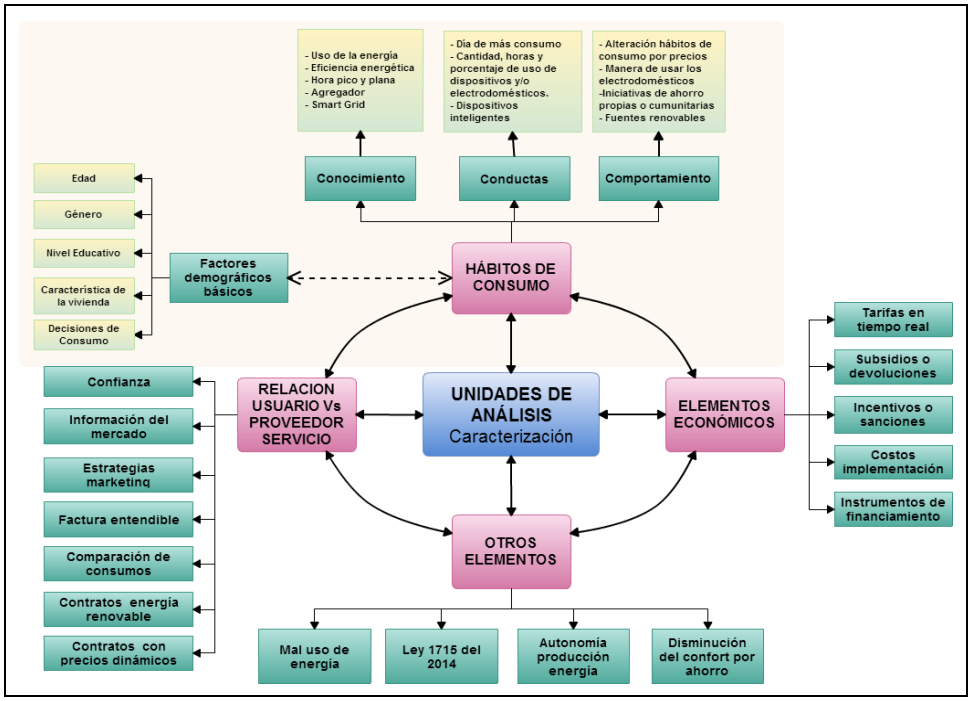


Figura 3.1 Interacción de las Unidades de análisis.
Fuente: Autora

Unidad de análisis - Factores demográficos básicos

Se requiere conocer algunas características, rasgos y estructuras de la población focal que se está estudiando, como es el estrato cuatro de la ciudad de Bogotá, las variables son: edad, género, nivel de educación, número de habitantes usuales en

la residencia, área de construcción de la residencia, propiedad térmica de la vivienda y decisiones de consumo de energía eléctrica en la residencia.

Unidad de análisis - Hábitos de consumo

Con esta unidad de análisis se establece la forma en que un usuario acostumbra hacer uso del servicio de energía eléctrica en su residencia, de tal manera se dividió en tres aspectos: conocimiento, conductas habituales y comportamiento sobre su uso, las cuales se relacionan de la siguiente manera:

Conocimiento: variables relacionadas con la comprensión que tiene la población focal sobre aspectos básicos de energía eléctrica, como son: conocimiento sobre el uso apropiado de la energía, concepto de eficiencia energética, conocimiento de hora pico y hora valle, concepto del agente agregador y concepto de redes eléctricas inteligentes.

***Conductas habituales de consumo de energía eléctrica*:** datos relacionados con los principales dispositivos y/o electrodomésticos para satisfacer las necesidades básicas del estrato 4, establecidos de acuerdo a el porcentaje de empleo de ellos en diferentes horas del día (Consorcio CORPOEMA - CUSA, 2012), y el uso de dispositivos o tecnología inteligente en las residencias (Jiménez, 2013). Las variables son: dispositivos inteligentes para gestión energética, día en la semana donde se consume más energía, cantidad de dispositivos y/o electrodomésticos, horas de uso, y porcentaje uso de dispositivos y/o electrodomésticos.

Comportamiento sobre uso de energía eléctrica: manera como el usuario se comporta frente a ciertos aspectos relacionados con el uso de la energía en la residencia, como son: alteración de hábitos de consumo por precios dinámicos, uso de electrodomésticos (apagados o encendidos), iniciativas propias de ahorro de energía, iniciativas comunitarias sobre ahorro de energía, uso de fuentes renovables y otras motivaciones.

Unidad de análisis – Elementos económicos relacionados con el servicio de energía eléctrica

Esta unidad explora algunos de los factores que influencian el comportamiento de los usuarios con relación a las señales de precios y estímulos económicos para ser utilizado en los mercados energéticos (Muratori, Schuelke Leech, & Rizzoni, 2014). Las variables son: conocer la tarifa de energía en tiempo real, recibir subsidios o devolución de impuestos por el empleo de algún tipo de energía renovable, contratos donde ofrezcan incentivos y/o sanciones, costos de implementar sistemas de gestión en el hogar, aceptación de instrumentos de financiamiento por emplear HEMS.

Unidad de análisis - Relación entre usuario y proveedor del servicio

Se identifica la correspondencia que hay entre los usuarios y el proveedor del servicio de energía. Las variables que se trabajaron son: confianza en el proveedor del servicio, información del comportamiento dinámico del mercado, estrategias de mercadeo con los usuarios, información en la factura, comparaciones de consumo, contratos de suministro de energía con energías renovables, contratos de suministro de energía con precios dinámicos.

Unidad de análisis - Otros elementos

Se señalan otros elementos que tienen algún tipo de influencia con el uso de la energía eléctrica en las residencias, bajo el nuevo contexto de comercialización. Las variables a analizar son: conocimiento de la Ley 1715 del 2014 (Congreso de Colombia, 2014), autonomía en la producción de la energía, implicaciones del mal uso de la energía y disminución del confort por ahorro de energía eléctrica.

3.1.2 Selección métodos de recolección de datos

Para conseguir datos en el contexto de hábitos de consumo y de acuerdo a lo mostrado en el Capítulo 2 sobre técnicas de recolección, el método más adecuado para adquirir una visión general de los usuarios estrato 4 de Bogotá y conocer su comportamiento en función de la energía eléctrica son las encuestas, las cuales se aplicaron de manera anónima con preguntas cerradas. Plantear unidades de análisis fue indispensable para su elaboración ya que en ella están los diferentes insumos que se relacionan con los hábitos de consumo del usuario residencial y el impacto sobre la curva de demanda.

Se diseñó y desarrolló la plantilla preliminar de la encuesta, la cual se aplicó a 4 grupos focales de personas expertas en el tema en diferente fecha, con estos grupos se buscó asegurar que las preguntas estuvieran planteadas de manera natural y entendibles para los usuarios residenciales, y no se prestara para confusiones en el momento de realizar la encuesta definitiva, ver Apéndice 1.

3.1.3 Cálculo del Tamaño de la Muestra

La población objetivo es un conjunto de elementos al cual se le valoran sus rasgos distintivos, esto se dificulta cuando la población es grande y dispersa; una solución consiste en medir solo una parte o muestra de la población (De la Horra Navarro, 2014). Para el caso de la presente investigación, la población objeto son los usuarios residenciales de energía eléctrica en la ciudad de Bogotá del estrato socioeconómico 4, que son 219.842 suscriptores en promedio anual (Superintendencia de servicios públicos domiciliarios, 2016).

Cuando la población tiene la misma probabilidad de ser seleccionada para integrar la muestra se denomina muestreo aleatorio simple, donde se extraen las

características que se medirán y cuyo valor será un conjunto de variables aleatorias independientes con la misma distribución poblacional (Levine, 2010). El tamaño de la muestra para un diseño de encuesta basado en una muestra aleatoria simple, se calcula mediante la ecuación 3.1 (Montgomery, 2014):

$$n = \frac{Z^2 * P * Q}{e^2}; donde Q = 1 - P \qquad (3.1)$$

Donde:

n = Tamaño de la muestra requerido.

Z = Nivel de confianza (Probabilidad de que la estimación se ajuste a la realidad).

e = Margen de error (valor estándar). Diferencia entre un estadístico y su parámetro correspondiente.

P = Prevalencia o proporción tomada en los grupos focales para ajustar la encuesta, la cual se calcula mediante la ecuación 3.2.

$$P = \frac{\sum a_i}{n}; donde \frac{a = NúmeroExitos}{n = Tamaño} \qquad (3.2)$$

Se empleó la Distribución Normal o Gaussiana, la cual es una función de densidad simétrica y con forma de campana (Vladimirovna & Gutiérrez González, 2014). Para fijar la proporción (P), se seleccionó una de las preguntas más representativas. **¿Usted modificaría sus hábitos de consumo de energía eléctrica si le ofrecen precios variantes y más económicos a diferentes horas del día?**, el 88% contesto que **SI** modificarían sus hábitos de consumo, por lo tanto la proporción para calcular la muestra se estableció con ese valor.

La Tabla 3.1 presenta las posibilidades de la Distribución Normal para la investigación, así como los niveles de confianza y los porcentajes de error bajo la proporción calculada. La elección de estos valores tiene influencia en la consecución de los datos por medio de las encuestas.

Nivel Confian	**80%**	**85%**	**88%**	**90%**	**92%**	**95%**	**97%**	**98%**	**99%**
Error	1,2816	1,4395	1,5548	1,6449	1,7507	1,9600	2,1701	2,3263	2,5758
1%	1734,3	2188,3	2552,7	2857,1	3236,5	4056,6	4973,0	5715,0	7006,5
2%	433,6	547,1	638,2	714,3	809,1	1014,1	1243,3	1428,7	1751,6
3%	192,7	243,1	283,6	317,5	359,6	450,7	552,6	635,0	778,5
4%	108,4	136,8	159,5	178,6	202,3	253,5	310,8	357,2	437,9
5%	69,4	87,5	102,1	**114,3**	129,5	162,3	198,9	228,6	280,3
6%	48,2	60,8	70,9	79,4	89,9	112,7	138,1	158,7	194,6
7%	35,4	44,7	52,1	58,3	66,1	82,8	101,5	116,6	143,0
8%	27,1	34,2	39,9	44,6	50,6	63,4	77,7	89,3	109,5
9%	21,4	27,0	31,5	35,3	40,0	50,1	61,4	70,6	86,5
10%	17,3	21,9	25,5	28,6	32,4	40,6	49,7	57,1	70,1

Tabla 3.1 Muestra poblacional – Distribución Normal
Fuente: Autora

Para el tamaño de la muestra se analizó el impacto del nivel de confianza ya que está directamente asociado a la probabilidad, por lo tanto se estipuló que el nivel de confianza fuera del 90% y el margen de error del 5%, con estos datos la muestra se establece en 114 viviendas del estrato 4 de la Ciudad de Bogotá a las cuales se les aplicó la encuesta aleatoriamente.

La encuesta[1] se aplicó virtualmente entre el 20 de enero y el 5 de abril de 2016. De igual manera, en el diseño del modelo estocástico se incorporó información complementaria, como las características específicas de los electrodomésticos, por tal razón se realizó otra plantilla de encuesta[2] (ver Apéndice 2). La cual se realizó aleatoriamente teniendo en cuenta la misma muestra y población, para obtener los datos complementarios necesarios.

A manera de ejemplo de cómo se tabularon y graficaron los datos obtenidos, en la Figura 3.2 se muestra el porcentaje por periodos de tiempo relacionada con el uso de electrodomésticos empleados por los usuarios residenciales del estrato 4 de la ciudad de Bogotá. Los demás resultados se plasman en el Apéndice 3.

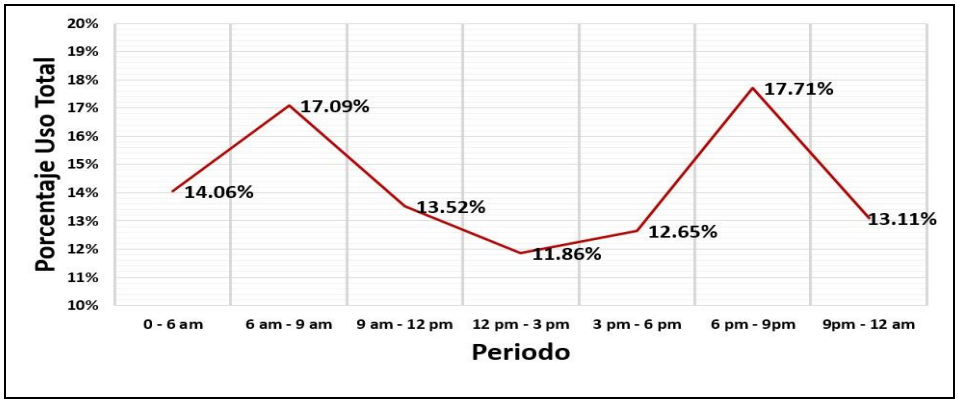


Figura 3.2 Porcentaje uso electrodomésticos por horas del estrato 4 en Bogotá.
Fuente: Autora

3.1.4 Curva de demanda típica de usuarios residenciales del estrato 4

Para correlacionar la tendencia de las encuestas y el modelo estocástico propuesto, se estableció un escenario base de la curva de demanda típica de los usuarios residenciales del estrato 4, dicha información fue solicitada a entidades del sector como la UPME (Unidad de Planeación Minero Energético), XM (Expertos en Mercados) y Codensa S.A (Comercializadora de Energía); sin embargo, la información oficial con que cuentan dichas entidades corresponde a las mediciones que se realizan en cada transformador de distribución, el cual incluye

[1]https://docs.google.com/forms/d/e/1FAIpQLSd5stgbAABdxD2jQ6aSZUhWzO6YBMu6o3WEWWQvayRbSm9zuw/viewform
[2]https://docs.google.com/forms/d/e/1FAIpQLSdCGcXwvq2F61eEW860XX4jzK73bBo9GuvJfrXOadRPVOrjew/viewform

datos de usuarios residencias, comerciales e industriales y no por separado, como se requiere en esta investigación.

Por lo anterior, se procedió a realizar mediciones de los registros en las residencias de usuarios estrato 4 y en el punto común de un conjunto residencial, con seis equipos, así: trece (13) mediciones con cuatro (4) PQA823 de HT Instruments (HT Instruments, 2016), una (1) medición con un (1) Fluke 435 (Fluke brands, 2016) y cuatro (4) mediciones con un (1) Fluke 1730 (Fluke brands, 2016), para un total de 18 usuarios residenciales en diferentes puntos de la ciudad de Bogotá durante diez semanas, en periodos completos diarios (00:00 hasta 23:59 horas) entre 2 y 5 días de la semana. Los datos adquiridos de cada usuario fueron: Corriente, Tensión, Potencia y Factor de potencia, empleando los protocolos de medición para cada equipo. Dichas mediciones se generaron en conjunto con estudiantes de pregrado de ingeniería eléctrica que realizaron su proyecto de grado con el mismo grupo de investigación y bajo la codirección de la autora (Hernández & Carrillo, 2017), (Castellanos & López, 2016).

Propuesta de la curva de demanda promedio del usuario estrato 4

Los datos registrados por los equipos se almacenaron cada 2 minutos durante los diferentes días de la semana, consiguiendo 30 datos de potencia por hora. Con las mediciones se realizó el análisis de la demanda obteniendo el promedio por hora y la curva promedio durante las veinticuatro horas (0:00- 23:00 horas) para cada uno de los 18 usuarios. Los consumos por hora de cada día de la semana se promediaron, con lo cual se propuso una aproximación de la curva final de demanda del estrato cuatro de la ciudad de Bogotá (Figura 3.3).

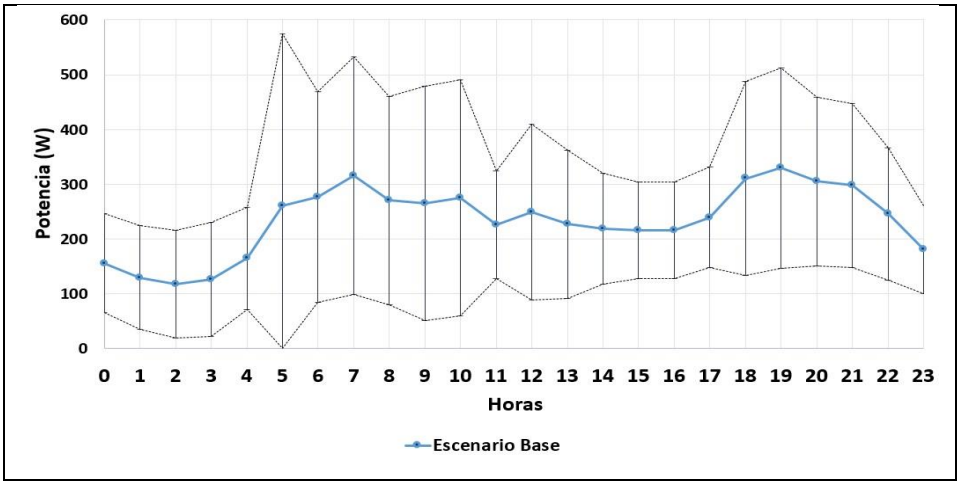


Figura 3.3 Proyección Curva de demanda aproximada del estrato 4 de Bogotá.
Fuente: Autora

Para proyectar la curva no se eliminaron datos, aunque su comportamiento fuera atípico, ya que con esto se ve la variación de la curva y lo disperso de los consumos en las residencias. Por lo anterior, se calculó la desviación estándar por hora, para

establecer los posibles rangos de consumo con respecto a la curva de demanda aproximada final, la cual se muestra en la Figura 3.3 de color azul. Con las mediciones se determinó un consumo promedio aproximado de 168,87 kWh/mes del estrato 4 para la ciudad de Bogotá.

3.2 Propuesta del Modelo estocástico de hábitos de consumo de energía eléctrica

Los pronósticos de demanda se basan en el conocimiento de la experiencia usando una técnica adecuada con datos tanto estáticos como dinámicos, los cuales se representan como un conjunto de variables (Yoo, Yuasa, & Hwang, 2017). Para proponer el modelo se tuvo en cuenta las principales características de algunos modelos empíricos probalisticos, ya que por su naturaleza analizan los intervalos de tiempo en los periodos donde se requiere el analisis del comportamiento de la curva de demanda como por ejemplo: el Modelo de Yao et al (Yao & Steemers, 2005), el modelo Stokes (Stokes, 2005) y el modelo propuesto por Richardson et al (Richardson, Thomson, Infield, & Clifford, 2010).

3.2.1 Adaptación del modelo propuesto

De los modelos empíricos probalisticos analizados se extrajo las principales características, de igual manera los datos de las encuestas sirvieron para agregar otras funcionalidades y adaptar el modelo estocástico propuesto. Se emplea la dinámica de sistemas, la cual es una ciencia para estudiar multiplicidad de sistemas y sus relaciones causales, incluyendo sistemas sociales, económicos, entre otros, lo que permite analizar el comportamiento y realizar simulaciones (Rasouli , 2010). Su objetivo es analizar qué puede pasar a lo largo del tiempo para diferentes escenarios (Castaño, 2013).

El diseño del modelo estocástico propuesto está conformado por datos de entrada, el procesamiento de los mismos y los datos de salida (Figura 3.4). Los datos de entrada se consiguen por medio de los resultados de las encuestas (fuente primaria). El procesamiento de los datos se basó en los antecedentes de la literatura estudiada y las necesidades propias del modelo. Finalmente, como insumo principal se obtiene el comportamiento aleatorio en la curva de demanda en este estrato residencial, reflejando los posibles cambios que se pueden presentar cuando se varían los hábitos de consumo de energía eléctrica.

Para desarrollar el modelo propuesto, se utiliza el software de simulación PowerSim ® en su versión “Studio Academic” (PowerSim, 2017), ya que: reconoce el modelado de flujos entre las variables, maneja diferentes unidades, tiene interfaces de usuario, se conecta a bases de datos, desarrolla funciones probabilísticas y, establece datos de entrada a los cuales se les efectúa un procesamiento que brinda los datos de salida sobre posibles modificaciones en los hábitos de consumo para tener diferentes curvas de demanda. Estos elementos se presentan en la Tabla 3.2.

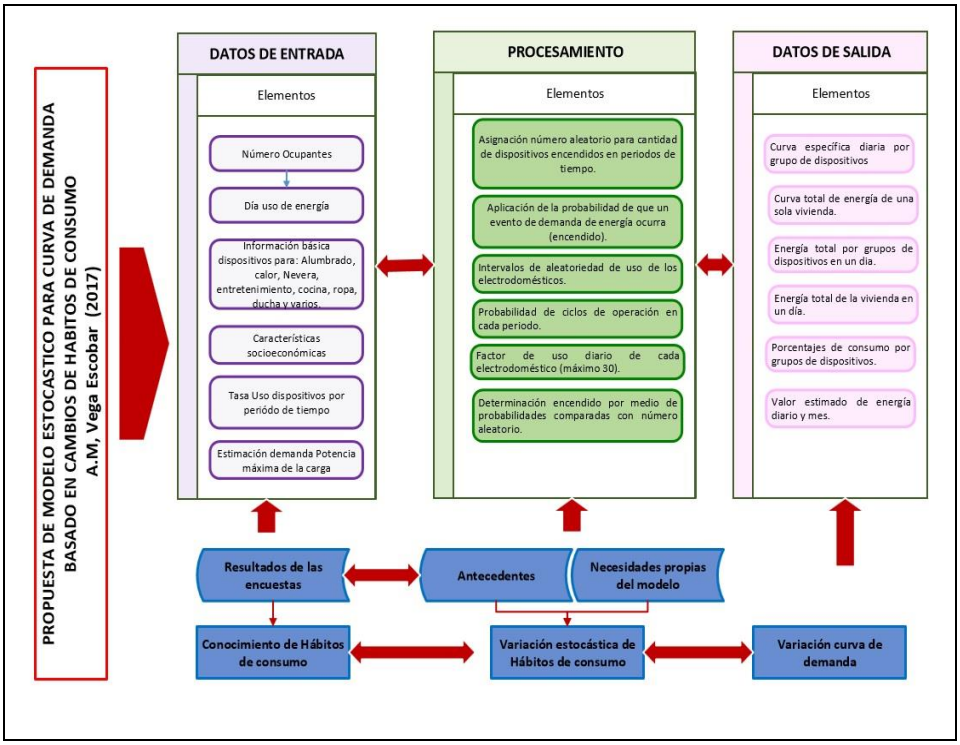


Figura 3.4 Esquema propuesto del modelo estocástico hábitos de consumo
Fuente: Autora

Datos entrada	Procesamiento empleado	Datos salida
-Información de número ocupantes de la vivienda (limitada a 6 personas). -Selección de uso (semana o fin de semana). -Información de ocho grupos de dispositivos: alumbrado, electrodomésticos de calor y/o frio, entretenimiento, cocina, ropa, ducha y varios (30 en total). -Curvas demanda individual de ocho agrupaciones de dispositivos. -Características socioeconómicas relacionadas con el número de ocupantes. -Aproximación de tasa de uso de cada electrodoméstico por periodo de tiempo al día.	-Asignación de número aleatorio con simulación predeterminada por el software para la cantidad de electrodomésticos encendidos por periodos de tiempo, teniendo en cuenta el numero de ocupantes en la vivienda y el dia de uso. - Aplicación de probabilidad de que un evento de demanda de energía ocurra (encendido). -Intervalos de aleatoriedad en el uso de los electrodomésticos. - Probabilidad ciclos operación por periodo. -Factor de uso diario de cada electrodoméstico. -Tiempos de uso (horas) de los electrodomésticos por medio de probabilidades comparadas con números aleatorios.	- Curva específica de demanda diaria por grupo de dispositivos. - Curva total de demanda diaria de una vivienda. -Energía total por grupos de dispositivos por dia. - Energía total de la vivienda en un día. - Porcentajes de consumo por grupos de dispositivos. - Valor aproximado de energía al mes.

Tabla 3.2 Elementos modelo estocástico propuesto
Fuente: Autora

3.2.2 Desarrollo del modelo estocástico de hábitos de consumo

Para establecer el modelo estocástico, las variables de entrada propuestas están ligadas a los datos suministrados en las encuestas realizadas y en la curva típica de demanda de las mediciones en el estrato 4. De igual manera se estableció dos tipos de periodos, el primero con cada una de las 24 horas al día y el segundo, con periodos de tiempo, dividiendo el día en seis (6) intervalos de la siguiente manera: 0:00 – 6:00, 6:00 - 10:00, 10:00 - 14:00, 14:00 - 18:00, 18:00 – 21:00 y 21:00 – 24:00, lo anterior para comparar los consumos durante cada intervalo y extraer otras perspectivas sobre las posibles variaciones en los hábitos de consumo. De igual manera, se consideró dos lapsos de la semana: entre semana y los fines de semana, teniendo como base los resultados de las encuestas, ya que el 77,2% de los usuarios consumen más energía los fines de semana. Otro elemento es el número de ocupantes con un máximo de 6 (seis), que puede variar en cada simulación realizada.

Se estipularon 8 grupos de electrodomésticos principales (alumbrado, electrodomésticos de calor y/o frio, entretenimiento, cocina, ropa, ducha y varios) estos se dividieron en subgrupos para un total de 30 dispositivos con su respectivo consumo promedio, que se obtuvo de la literatura estudiada (Ruellan, Park, & Bennacer, 2016) y (Jones & Lomas, 2016).

Las variables más representativas del modelo propuesto son:

- Energía grupo electrodomésticos por periodo (EGE_P): energía promedio consumida por el total de los electrodomésticos en cada periodo de tiempo.

$$EGE_P = \sum_{i=n}^{n} ET_{nXn} \qquad (3.3)$$

- Energía por tipo de electrodoméstico (EE): consumo total de energía por tipo de electrodoméstico analizado.

$$EE = \sum_{i=n}^{n} ET_{Tipo\ electrodoméstico} \qquad (3.4)$$

- Energía día electrodoméstico (ED_E): sumatoria de la energía consumida por cada grupo de electrodoméstico de cada periodo de tiempo.

$$ED_E = \sum_{i=n}^{n} EE_E \qquad (3.5)$$

- Energía mes electrodoméstico (EM_E): Proyección de la energía del día por electrodoméstico por 30 días al mes.

$$EM_B = ED_E * 30 \qquad (3.6)$$

Otros elementos que se proyectan como resultado de cada simulación realizada son:

- Gráfica de demanda por grupo de electrodomésticos por día: Representación gráfica de la curva de demanda por grupo de electrodomésticos por día, se visualiza de dos maneras: por horas o por periodos.

- Gráfica de demanda por día: Representación gráfica de la curva de demanda de todos los electrodomésticos por día, se visualiza de dos maneras: por horas o por periodos.

- Valor kWh: Valor del kWh. Se puede asignar dependiendo de las necesidades del estudio.

- Valor estimado de energía al mes: multiplicación de la energía mes por electrodoméstico por el valor del kWh.

En el siguiente apartado se explica el diseño de uno de los grupos de electrodomésticos involucrados en el modelo estocástico propuesto, los demás se visualizan en el Apéndice 4 y se desarrollaron de manera similar.

Grupo Alumbrado

- Escenario base cantidad bombillos (EBC_B): Número de luminarias aproximada por vivienda. Se estructura en una matriz para facilitar el cálculo con las posteriores operaciones en donde intervienen probabilidades. Se tuvo en cuenta la encuesta realizada donde se establece que el 54% de las viviendas tienen entre 6 y 10 luminarias, el 18% entre 11 y 15 luminarias y el 8% entre 16 y 20 luminarias. Se descartaron los extremos o medida de tendencia central estadística, que son entre 1 y 5 luminarias el 16% y más de 21 luminarias el 4%, con un intervalo de cobertura del 80%, representativo del estrato 4. La cantidad promedio se fijó en 15 luminarias por vivienda.

- Porcentaje tipo de bombillos (PT_B): es la cantidad de luminarias de cada tipo que se tienen en las viviendas estrato 4. Según los resultados de las encuestas se tienen los siguientes porcentajes: Incandescentes: 25%, Fluorescente compacta: 59%, LED: 11%, y Halógenas: 5%.

- Consumo por bombillo (C_B): consumo promedio fijado de acuerdo a lo especificado por los fabricantes.

- Variación cantidad bombillos (VC_B): para cada simulación se establece la cantidad de luminarias por vivienda. Se propone un intervalo de aleatoriedad para simular un tipo de vivienda que tenga un mínimo y máximo número de luminarias por medio de una variable denominada Random Cantidad Bombillos (RC_B), la cual genera un número aleatorio entre 0 y 1 siguiendo los algoritmos implementados por el PowerSim® relacionados con funciones aleatorias para las variables continuas.

$$VC_B = PT_B * (1 - RC_B) \quad (3.7)$$

- Probabilidad de encendido de bombillos por periodo de tiempo (PE_B): Esta variable maneja las probabilidades de encendido de cada uno de los cuatro tipos de luminarias seleccionadas, por periodos del día, se maneja con una matriz 4x24 teniendo en cuenta la variación de la curva de demanda base.

$$PE_{B\ 4x24} = 1 - PE_B(E)_{4x24} \quad (3.8)$$

- Cantidad probable de bombillos encendidos (CPE_B): Posibilidad de encendido de las luminarias en cada uno de los periodos de tiempo la cual se genera con la probabilidad de encendido de manera aleatoria y la variación de la cantidad de luminarias que se tienen en cada simulación.

$$CPE_B = VC_{B\ 4x1} * PE_{B\ 4x24} \quad (3.9)$$

- Tiempo de uso base de los bombillos en cada periodo de tiempo (TB_B): este dato se proyectó conforme a la encuesta y la curva de demanda sobre el uso de las luminarias por horas y para cada periodo de tiempo, estableciendo valores fijos para proyectar la aleatoriedad posterior de uso en cada simulación.

- Probabilidad horas uso alumbrado por periodo de tiempo (PHU_B): Esta variable maneja las probabilidades de encendido de las luminarias seleccionadas, en cada uno de los periodos del día, se maneja con una matriz 4x24 teniendo en cuenta el porcentaje de uso promedio arrojado en la encuesta.

- Tiempo uso probable bombillos (TP_B): Es la variación en el tiempo de uso (encendido) de cada tipo de luminaria en los diferentes periodos de tiempo. Su tiempo máximo se estableció con la variable tiempo de uso base diario alumbrado por periodo y la probabilidad de uso:

$$TP_B = TB_{B\ 4X24} * PHU_{B\ 4X24} \quad (3.10)$$

- Factor de Operación (FO_B): Valor que contiene un porcentaje de operación que varía en el periodo de la semana en que se empleen las luminarias (entre semana o fin de semana) y el número de ocupantes de la vivienda. Se establece de acuerdo a los resultados obtenidos en la encuesta.

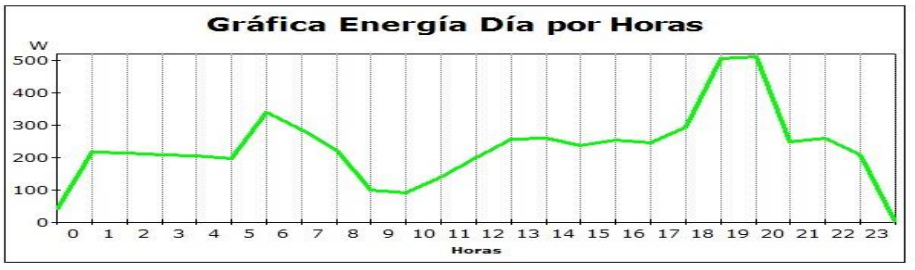
- Energía total Bombillos (ET_B): Es el resultado de la multiplicación de las siguientes variables: la cantidad probable de bombillos encendidos, la variación en el tiempo de uso de los bombillos y el factor de operación, teniendo en cuenta el consumo (C_B) de cada tipo de bombillo.

$$ET_{B\ 4X24} = CPE_{B\ 4X24} * TP_{B\ 4X24} * FO_{B\ 6x1} * C_B \quad (3.11)$$

En la Figura 3.5, hay un ejemplo de cómo son mostrados los datos de salida cuando se realiza una simulación con el software PowerSim®, así mismo la gráfica de consumo de energía diaria. Como el modelo se implementó de manera aleatoria, cada simulación muestra resultados diferentes, pero dentro del rango de dispersión que se calculó en la sección 3.1.4.

Consumos por grupo de electrodomésticos

	Energía Dia	% Día	Energía Mes	Energía Aprox Año
Energía Iluminación	1,23 KWh	21,57 %	37,04 KWh	
Energía Nevera	1,05 KWh	18,31 %	31,45 KWh	
Energía Electrod Entretenimiento	0,29 KWh	5,06 %	8,69 KWh	
Energía Cocina	0,37 KWh	6,41 %	11,00 KWh	
Energía Electrodomésticos Calor	2,20 KWh	38,40 %	65,95 KWh	
Energía Electrodomésticos de Ropa	0,05 KWh	0,89 %	1,53 KWh	
Energía Electrodomésticos de Ducha	5,45e-3 KWh	0,10 %	0,16 KWh	
Energía Electrodomésticos Varios	0,53 KWh	9,27 %	15,92 KWh	
TOTAL ENERGIA	**5,72 KWh**		**171,74 KWh**	**5.152,18 KWh**



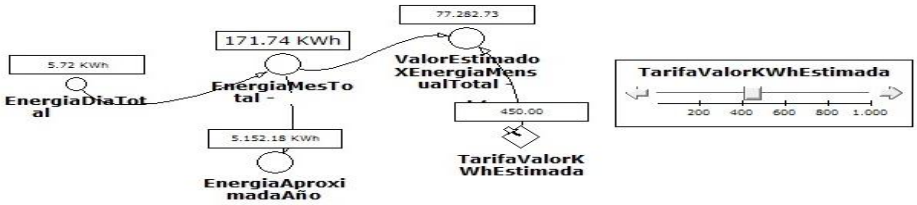


Figura 3.5 Visualización resultados en una simulación del modelo en PowerSim®
Fuente: Autora

3.3 Implementación del modelo

Con el modelo estocástico propuesto se simularon posibles modificaciones en los hábitos de consumo de los usuarios domiciliaros estrato 4 de la ciudad de Bogotá, para lograr diferentes curvas probabilísticas de demanda.

3.3.1 Proyección de la curva base de energía

Se procedió a realizar la primera simulación sin ningún tipo de cambio en los hábitos de consumo, para analizar si el comportamiento del modelo estaba correlacionado con la curva de las mediciones en las residencias. La Figura 3.6

muestra el comportamiento aleatorio de la curva de demanda de 100 simulaciones diferentes y la variación que presenta la misma. Existen dos picos, uno en horas de la mañana y otro en horas de la noche, estas simulaciones se promediaron para establecer la curva base de demanda de energía (color rojo).

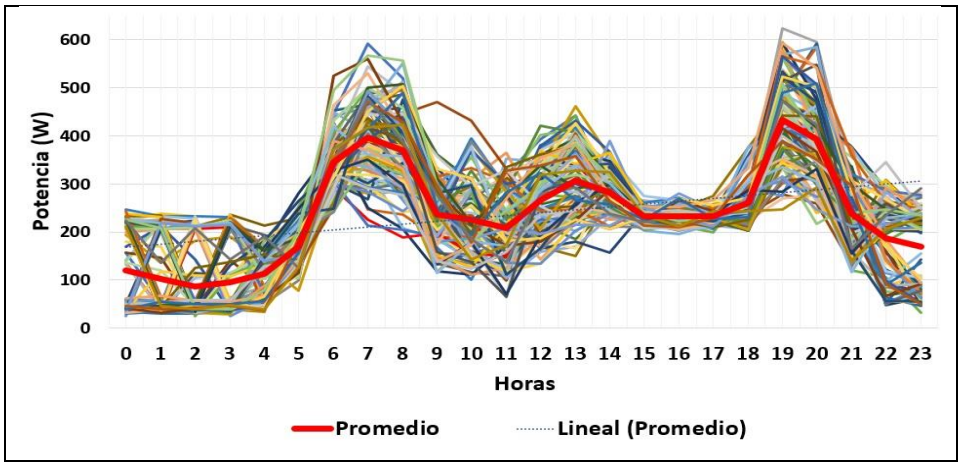


Figura 3.6 Simulación del modelo sin ningún cambio en los hábitos de consumo
Fuente: Autora

Con relación a la curva de demanda obtenida a partir de las mediciones, se analizaron los diferentes comportamientos y las dispersiones de los consumos, para esto se calculó la desviación estándar de la curva con respecto a su valor promedio para tener una visión de la posible distribución de los datos dentro de ese intervalo y que se ajustaran a la realidad para interpretarlos acorde al modelo estocástico propuesto.

En la Figura 3.7, se muestra la curva de demanda de las mediciones la cual es de color azul, y de color rojo es la curva generada por el promedio de las 100 simulaciones realizadas con el modelo estocástico, la cual permanece dentro del intervalo establecido por la desviación estándar calculada previamente durante todo el día, verificando que la aleatoriedad del modelo se encuentra dentro de los rangos posibles permitidos por el comportamiento real analizado.

La energía promedio consumida al mes, se puede estimar de tres maneras: Curva mediciones de 168,87 kWh/mes, Curva de las simulaciones de 171,01 kWh/mes y el promedio de consumo del estrato 4 en la ciudad de Bogotá, reportado en el Sistema Único de Información de Servicios Públicos (SUI)[3], para el periodo entre agosto del 2015 y agosto del 2016 de 175,02 kWh/mes (Superintendencia de servicios públicos domiciliarios, 2016). Se analizó el grado de dispersión por medio de la desviación estándar de los tres valores, la cual da 3,12 kWh/mes.

[3] http://www.sui.gov.co

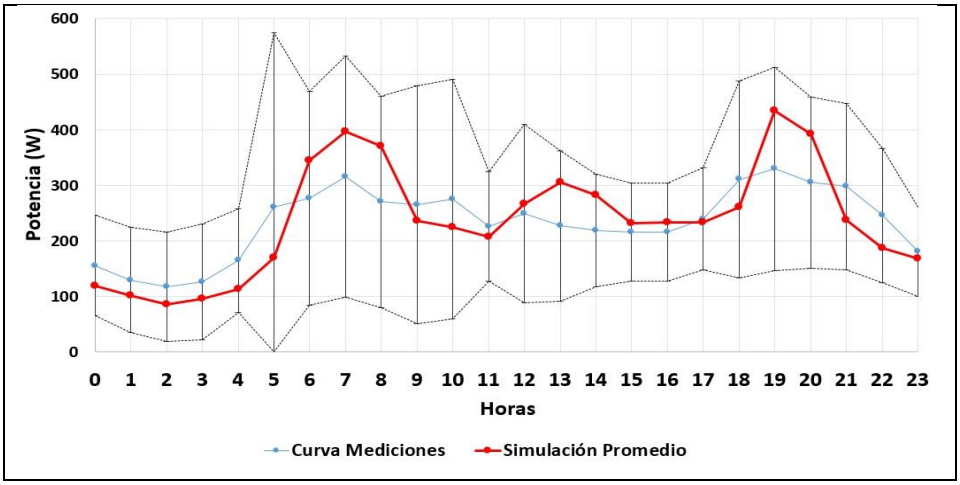


Figura 3.7 Comparación de las curvas y la desviación estándar
Fuente: Autora

Por lo anterior, para los escenarios de simulación propuestos se tomó como base la curva de simulación promedio, que se denominará en adelante curva de demanda base, ya que se encuentra dentro del margen de dispersión siguiendo la misma tendencia de la curva de mediciones y de los consumos.

3.3.2 Escenarios de prueba

Los escenarios se construyen teniendo en cuenta los diferentes grupos de electrodomésticos y horarios donde la curva de demanda se incrementa para visualizar la tendencia de la misma. Se establecen doce escenarios de prueba que se incorporan en el modelo estocástico, realizando las modificaciones respectivas en cada evento, estos se simularon 100 veces sobre el mismo escenario para ver las modificaciones en la curva de demanda base de acuerdo a los cambios en los hábitos de consumo. Los siguientes son los escenarios propuestos:

- Escenario 1: Cambio del 10% menos en hábitos de consumo en iluminación en el periodo de 18:00 –21:00 horas.
- Escenario 2: Cambio del 10% menos en hábitos de consumo en iluminación en los periodos comprendidos entre las 5:00 – 7:00 y 18:00 – 21:00 horas.
- Escenario 3: Cambio del 20% menos en hábitos de consumo en iluminación todo el día.
- Escenario 4: Cambio del 20% menos en hábitos de consumo en entretenimiento todo el día.
- Escenario 5: Cambio del 20% menos en hábitos de consumo en entretenimiento y nevera todo el día.
- Escenario 6: Cambio del 20% menos en hábitos de consumo en calor en los periodos comprendidos entre las 6:00 – 8:00 y 19:00 - 21:00 horas.
- Escenario 7: Cambio del 20% menos en hábitos de consumo en cocina durante todo el día.

- Escenario 8: Cambio del 10% menos en hábitos de consumo en ducha y ropa todo el día.
- Escenario 9: Cambio del 20% menos en hábitos de consumo en electrodomésticos varios todo el día.
- Escenario 10: Cambio del 10% menos en hábitos de consumo en toda la carga durante el periodo de 18:00 - 21:00 horas.
- Escenario 11: Cambios de tecnología en algunos electrodomésticos de las residencias.
- Escenario 12: Cambio del 30% menos en hábitos de consumo de toda la carga durante todo el día.

A continuación se presentan las pruebas y resultados en dos de los escenarios propuestos, los demás se observan en el Apéndice 5. Estas proyecciones se elaboraron teniendo en cuenta un precio base para el kWh de $438.96 en el mes de agosto de 2016 (Codensa, 2016).

Escenario 2: Cambio del 10% menos en hábitos de consumo en iluminación en los periodos comprendidos entre las 5:00 – 7:00 y 18:00 – 21:00 horas

Para desarrollar esta simulación, se programó en el algoritmo del software el grupo de dispositivos de iluminación en un 10% menos, las siguientes variables teniendo en cuenta los periodos en donde recaía el cambio de los hábitos de consumo de manera aleatoria: Probabilidad de encendido de Bombillos por Periodo de Tiempo (PE_B), Cantidad probable de bombillos encendidos (CPE_B), Tiempo de uso base de los bombillos en cada periodo de tiempo (TB_B), Probabilidad Horas Uso Alumbrado por Periodo de Tiempo (PHU_B), Tiempo uso probable bombillos (TP_B) y el Factor de Operación (FO_B). Esta simulación se corrió en el programa 100 veces para ver su aleatoriedad y los consumos se promediaron por hora (Figura 3.8).

En la Figura 3.9 está el consolidado de la curva de demanda de la simulación base y la curva obtenida con el cambio de los hábitos de consumo en un 10% en iluminación para dos periodos, las cuales están superpuestas y presenta una disminución en cada periodo de 21 y 24 W respectivamente. El consumo promedio es de 165,88 kWh/mes, que significa una reducción de 2,99% con relación a la simulación base. Este escenario indica que cambiando los hábitos de consumo en esa proporción la disminución en el precio de la factura es de $2.248,20 al mes y en el año $26.978,40 para un solo usuario.

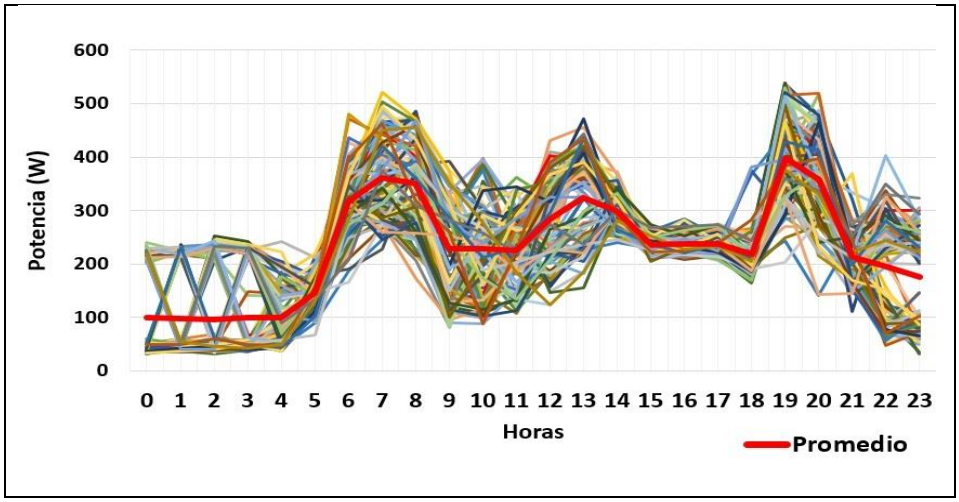


Figura 3.8 Simulación cambio 10% menos en hábitos de consumo iluminación periodos (5:00-7:00 y 18:00-21:00)
Fuente: Autora

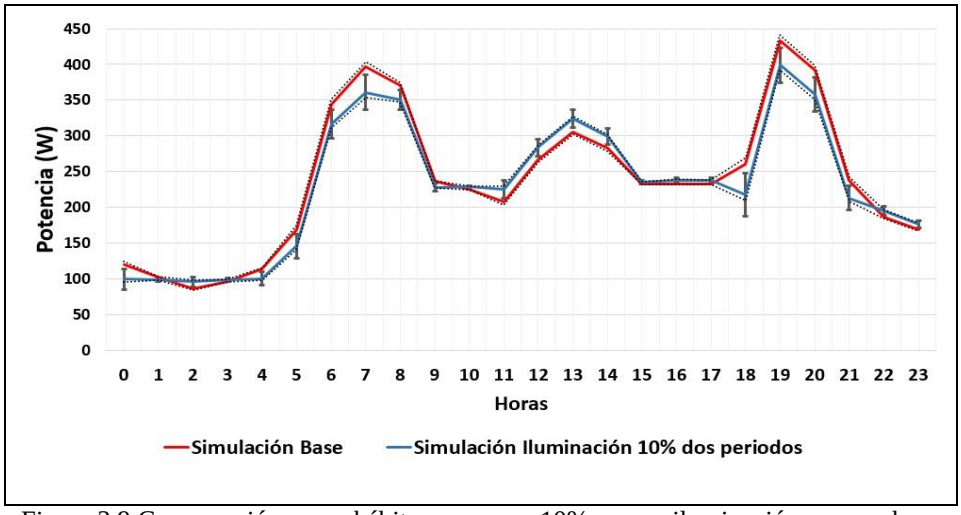


Figura 3.9 Comparación curva hábitos consumo 10% menos iluminación y curva base
Fuente: Autora

Escenario 11: Cambio de tecnologías en algunos electrodomésticos de las residencias

Para esta simulación se planteó realizar los siguientes cambios de tecnología en algunos electrodomésticos de las residencias estrato 4 de la ciudad de Bogotá, para analizar el comportamiento de la curva de demanda:

- Iluminación: Cambio del 80% de los bombillos por tecnología LED.
- Nevera: El modelo contempla la utilización de cuatro tipos de neveras, para este escenario se cambió la nevera que más se emplea en este estrato según la encuesta, la cual es de 9 pies, por una con etiqueta de Clase A (Etiquetado energético en Colombia, 2016), que consume aproximadamente 340 kWh al

año, lo que equivale a 39,35 W la hora. De igual manera, reemplazar la de 12 pies, que es la segunda más empleada, por una con etiqueta Clase B que consume 360 kWh al año, que equivale a 41,66 Wh aproximadamente. Las otras dos (7 pies y Nevecon) se dejaron sin realizar cambios en su tecnología, para ver el comportamiento aleatorio de este escenario.

- Televisor: Según la encuesta la tecnología LED es la menos usada en el estrato 4, por tal razón se propuso el cambio de los televisores LCD y CRT por tecnología LED de 21 pulgadas, ya que este tamaño es el que más prevalece en los encuestados.
- Lavadora y Secadora: Cambio por una lavadora de eficiencia A que puede consumir unos 350 W, y una secadora con eficiencia Clase B que consume 500 W aproximadamente.

Realizando cambios en algunos de los electrodomésticos de las viviendas hay una disminución del consumo y de la curva de demanda de un 13,57%. Se observa la mayor variación en el periodo entre 18:00 – 21:00 horas, que se debe al cambio en la tecnología de iluminación. En cuanto a la proyección en el ahorro del valor en la factura, es de $ 10.184,04 al mes y en el año $122.208,48 por usuario. En este escenario se ve con mayor claridad los beneficios que se obtienen con el cambio de tecnologías, pero muchos de los usuarios no proyectan estos cambios por los altos costos que representan (Figura 3.10).

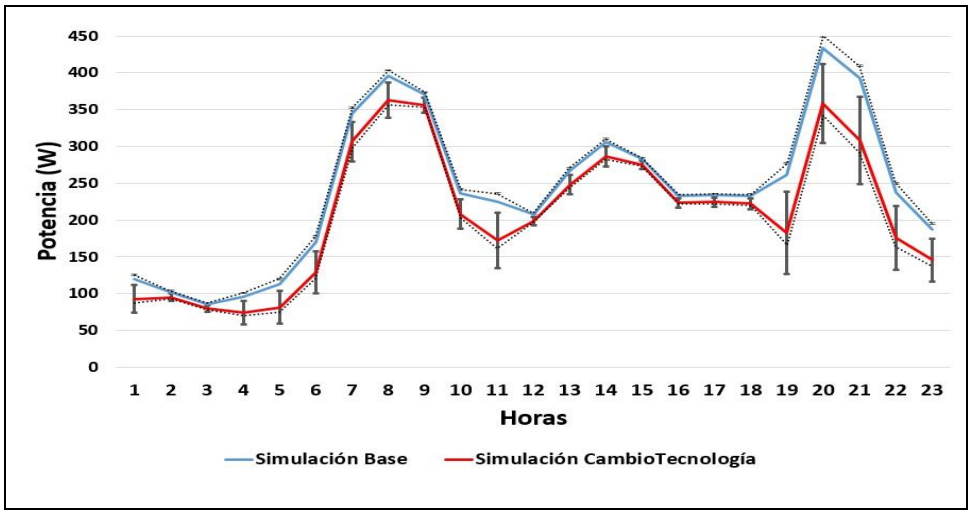


Figura 3.10 Variación curva realizando cambios en tecnología de algunos dispositivos
Fuente: Autora

3.3.3 Resultados Generales

Se simularon los escenarios propuestos (Ver Apéndice 5), logrando los resultados que se visualizan en la Tabla 3.3: consumo (kWh/mes), proyección del pago mensual por usuario y una aproximación del ahorro mensual en la factura. De igual manera se calculó la variación porcentual con respecto a la simulación base.

Escen. No	Características del escenario	kWh /mes	Variación Consumo	Pago Mensual	Ahorro Mensual
	Simulación Base	171,01		$ 75.066,82	
12	Toda la carga 30% menos todo el día	110,32	35,49%	$ 48.426,44	$ 26.640,38
11	Cambio Tecnología en algunos electrodomésticos	147,81	13,57%	$ 64.882,78	$ 10.184,04
5	Entretenimiento y Nevera 20% menos todo el día	159,16	6,93%	$ 69.862,72	$ 5.204,10
6	Calor 20% menos dos periodos (6:00-8:00 y 19:00-21:00)	160,47	6,16%	$ 70.441,45	$ 4.625,37
3	Iluminación 20% menos todo el día	160,73	6,01%	$ 70.552,40	$ 4.514,42
4	Entretenimiento 20% menos todo el día	163,84	4,19%	$ 71.918,56	$ 3.148,26
2	Iluminación 10% menos periodos: 5:00–7:00 y 18:00–21:00	165,89	2,99%	$ 72.818,62	$ 2.248,20
7	Cocina 20% menos todo el día	166,27	2,77%	$ 72.986,04	$ 2.080,78
8	Ropa y Ducha 10% menos todo el día	167,01	2,34%	$ 73.309,62	$ 1.757,20
10	Toda la Carga 10% menos periodo 18:00-21:00	167,04	2,32%	$ 73.323,21	$ 1.743,61
1	Iluminación 10% menos periodo 18:00 – 21:00	167,53	2,03%	$ 73.539,66	$ 1.527,16
9	Dispositivos Varios 20% menos todo el día	167,82	1,87%	$ 73.664,81	$ 1.402,01

Tabla 3.3 Consolidado simulaciones escenarios cambios hábitos consumo
Fuente: Autora

Los cambios del 30% menos en los hábitos de consumo en toda la carga todo el día y cambios en la tecnología de algunos dispositivos, muestran las mayores variaciones de 35,49% y 13,57% respectivamente con relación al escenario base.

La Figura 3.11 presenta la variación de los consumos en los diferentes escenarios simulados con relación a la simulación base, mostrando que el porcentaje de ahorro de energía en general es bajo si solo se plantea cambio en los hábitos de consumo por grupo de dispositivos y en diferentes periodos del día. Se evidencia una disminución en cada uno de los escenarios diseñados para el grupo de dispositivos de iluminación; el que más aporta es cambiar los hábitos de consumo en un 20% durante todo el día con un 6,01% de ahorro, por ello es importante incentivar el cambio de hábitos para este grupo de dispositivos.

Para que se refleje una variación en el consumo se debe estimular los cambios en los hábitos de consumo en todos los grupos de dispositivos residenciales y en todos los periodos del día, así como también incentivar el cambio de tecnología de los electrodomésticos. Según los datos de la encuesta el 67,54% de los usuarios estarían dispuestos en sacrificar su confort por ahorrar energía, pero si el usuario consigue variaciones muy bajas por medio de señales como el precio de la factura los cambios en los hábitos de consumo no se harían evidentes. Por tal razón hay

que plantear más estrategias y programas a disposición de los usuarios para incentivar acciones que hagan realmente cambiar sus hábitos de consumo.

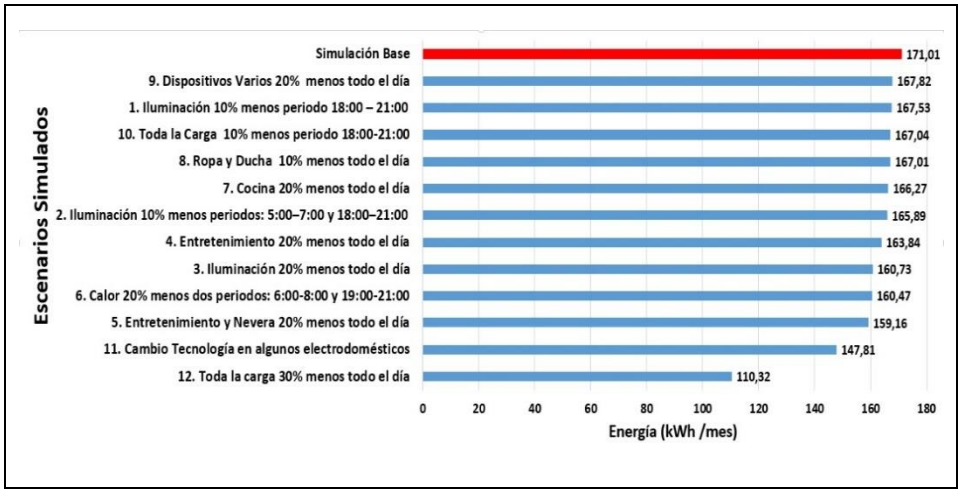


Figura 3.11 Variación de los consumos en los escenarios simulados
Fuente: La autora

Se realizó una proyección de consumos y ahorros mensuales en todos los escenarios teniendo en cuenta el mismo número de usuarios (114) a los que se les realizó la encuesta, de igual manera se contrastó con la proyección de ahorro mensual en el caso que el total de los 219.842 suscriptores del estrato 4 en la ciudad de Bogotá realizaran cambios en los hábitos de consumo, como se muestra en la Tabla 3.4. Con estos datos se percibe la gestión por medio del cambio en los hábitos de consumo, el escenario que menos impacto arroja en las proyecciones es el 9, con $ 159.829,46 para los 114 usuarios, en contraste el total de usuarios estrato 4 aportarían en ahorro $ 308.221.297,01. Lo anterior tiene varias implicaciones para los diferentes actores de la cadena de valor de la energía eléctrica, entre las cuales están:

- Nuevos esquemas de estímulos por parte de las empresas comercializadoras de energía ya que ellas estarían dejando de recibir dinero por la prestación de su servicio.
- Establecer más incentivos por medio de la regulación para los usuarios residenciales de manera que ellos se vuelvan usuarios activos a través de sus cambios de hábitos de consumo y realmente se vea que uniendo esfuerzos la compensación es más beneficiosa.
- Se observan más ahorros de consumo y de dinero cuando se vinculan más usuarios a realizar cambios en los hábitos de consumo de energía eléctrica.
- Menos consumo de energía se traduce en contribución con el medio ambiente en general.
- Incorporar tecnología inteligente (HEMS) en las residencias para que el cambio en los hábitos de consumo se pueda ejercer de mejor manera (esto se analiza en el Capítulo 4).

- Generación distribuida en las viviendas como alternativa de ahorro por medio de programas de GAD (esto se analiza en el Capítulo 5), teniendo como base la figura del agregador quien será el responsable de representar a varios usuarios en este nuevo esquema de comercialización.

Escenarios	Consumo 114 Suscriptores kWh /mes	Ahorro Mensual 114 usuarios kWh /mes	Ahorro mensual 114 usuarios ($)	Ahorro mensual 219.842 usuarios ($)
Simulación Base	19.495,21			
12. Toda la carga 30% menos todo el día	12.576,58	6.918,63	$ 3.037.003,51	$ 5.856.674.782,62
11. Cambio Tecnología algunos electrodomésticos	16.850,37	2.644,84	$ 1.160.980,08	$ 2.238.878.794,33
5. Entretenimiento y Nevera 20% menos todo el día	18.143,68	1.351,53	$ 593.267,17	$ 1.144.079.307,22
6. Calor 20% menos dos periodos 6:00-8:00 y 19:00-21:00	18.293,98	1.201,23	$ 527.292,21	$ 1.016.850.647,43
3. Iluminación 20% menos todo el día	18.322,79	1.172,42	$ 514.643,54	$ 992.458.467,51
4.Entretenimiento 20% menos todo el día	18.677,59	817,62	$ 358.901,58	$ 692.119.651,22
2. Iluminación 10% menos periodos 5:00 – 7:00 y 18:00 - 21:00	18.911,34	583,87	$ 256.294,48	$ 494.248.176,78
7. Cocina 20% menos todo el día	18.954,82	540,39	$ 237.208,53	$ 457.442.085,87
8.Ropa y Ducha 10% menos todo el día	19.038,86	456,35	$ 200.320,35	$ 386.305.497,03
10.Toda la Carga 10% menos periodo 18:00-21:00	19.042,39	452,82	$ 198.771,84	$ 383.319.281,91
1.Iluminación 10% menos Periodo 18:00 - 21:00	19.098,60	396,61	$ 174.096,17	$ 335.733.766,30
9.Dispositivos Varios 20% menos todo el día	19.131,10	364,11	$ 159.829,46	$ 308.221.297,01

Tabla 3.4 Proyección ahorro de los escenarios con diferente número de suscriptores
Fuente: la autora

3.4 Discusión del capítulo

En este capítulo se presenta el diseñó y desarrolló de un modelo estocástico para predecir y analizar diferentes comportamientos de la curva de demanda a través de la variación en los hábitos de consumo en 12 escenarios planteados. Se tomó como base los usuarios residenciales de la ciudad de Bogotá pertenecientes al estrato 4. Los principales aportes obtenidos al desarrollar este capítulo fueron:

- Diseño y desarrollo de una metodología para la caracterización de los hábitos de consumo, la cual se puede replicar en cualquier entorno residencial.
- Mediante la aplicación de encuestas a una muestra aleatoria simple de la población se obtuvo los principales hábitos de consumo de energía eléctrica de usuarios residenciales del estrato 4 de la ciudad de Bogotá.
- Construcción aproximada de la curva de demanda del estrato 4 de la ciudad de Bogotá, la cual sirvió como referente para comparar los resultados obtenidos con la implementación del modelo estocástico propuesto.
- Diseño y desarrollo del modelo estocástico de hábitos de consumo que refleja los cambios que se pueden presentar en la curva de demanda de acuerdo al

comportamiento aleatorio de consumo de los usuarios residenciales analizados.

- Al proyectar los consumos cuando varios usuarios participan cambiando sus hábitos de consumo, se observa que puede impactar favorablemente los aspectos económicos de estos usuarios debido a la disminución en el consumo de energía y por consiguiente también en los aspectos ambientales.
- Al realizar la proyección de los 12 escenarios efectuando modificaciones en los hábitos de consumo, se evidencia que los escenarios 12 y el 11 presentan mayores variaciones, con una disminución de consumo de 35,49% y 13,57% respectivamente con relación al escenario base. Los escenarios 1, 2, 4, 7, 8, 9 y 10 tienen una disminución entre 1,87% y 4,19 %, pese a que están planteados en diferentes periodos de tiempo y grupos de electrodomésticos, dichos valores no son muy significativos si se proyectan para un solo usuario, sin embargo para el caso en que sean más los usuarios, estos valores aumentan, lo que representa implicaciones para los diferentes actores de la cadena de valor de energía eléctrica.
- Se evidencia una disminución en cada uno de los escenarios diseñados para el grupo de dispositivos de iluminación; el que más aporta es el escenario 3 con un 6,01% de ahorro, por ello es importante incentivar el cambio de hábitos para este grupo de dispositivos.

4. PROTOTIPO DE SISTEMA DE GESTIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA DOMICILIARIA - GEDE

En este capítulo se expone el modelo conceptual, diseño e implementación de un prototipo de Sistema de Gestión de Energía Eléctrica Domiciliaria (hardware y software) denominado GEDE, el cual permite realizar gestión de la energía eléctrica soportada en la supervisión, monitoreo y control de las cargas que conforman las instalaciones eléctricas domiciliarias, seleccionando la fuente de alimentación (Sistema interconectado o Generación distribuida) de manera manual, semiautomática y automática.

4.1 Contextualización prototipos similares

Varios investigadores han propuesto prototipos de sistemas de gestión energética similares, debidamente patentado y se encuentran en bases de datos internacionales como Patentscope (Organización mundial de propiedad intelectual, 2017) y Espacenet (Oficina europea patentes, 2017), algunos son:

- Dispositivo para la gestión de energía eléctrica en una red (2015 - Causam Energy, INC): métodos para la gestión de energía abastecida por el operador de red para el suministro y/o reducción de carga. La comunicación con el sistema de gestión, el operador de red y los participantes del mercado, se realiza vía IP.
- Sistema de control y medición de consumo para aparatos e instalaciones eléctricas vía remota y local con monitoreo de sensores y dispositivos conectados (2015- Ingeniería mantenimiento y sistemas, S.A): controla y mide el consumo eléctrico, aplicando medidas correctivas o preventivas.
- Sistema de monitoreo portátil de recursos del hogar (2017 - Castro Baldenebro, Brayan Gamaniel): red de iluminación LED electrónica con comunicación inalámbrica por módulos de control para el hogar. Permite la iluminación sectorial y configurar patrones para comunicar mensajes y/o alertas visuales.
- Sistema de alarmas, optimización energética y analítica de datos para una casa (2017 - Castro Baldenebro, Brayan Gamaniel): sistema para monitoreo y gestión de la eficiencia energética en edificaciones. Realiza el pronóstico de consumo energético y la evaluación económica.
- Sistema de gestión energética (2017- Lite-On Electronics): con un módulo de alimentación que proporciona una potencia de entrada, un módulo que controla la carga y un módulo que detecta cuanta energía eléctrica almacenada hay.
- Sistema de control de potencia (2017- Sharp Kabushiki Kaisha): calcula la energía consumida y provee la capacidad de energía en la batería para la instalación en el caso de que el consumo exceda el valor superior a suministrar.

- Sistema de gestión de dispositivos (2017- Tekpea, Inc): Tarjeta para proporcionar comunicación bidireccional entre la red de distribución y los dispositivos a través de protocolos de comunicación.
- Sistema de gestión de energía y método de gestión de energía (2017- Kyocera Corporation): gestiona el consumo de energía mediante un controlador para ejecutar el control automático de acuerdo a valores objetivos.
- Sistema y método para la gestión de la energía de un hogar inteligente (2017- Kim Young Sik): Sistema de gestión que incluye: un sensor de corriente para medir el consumo de energía y la energía de reserva, un multi-receptáculo para comunicación a través de una interfaz ZigBee y un servidor para recopilar datos.

4.2 Descripción del prototipo de sistema - GEDE

En la Figura 4.1, se muestra la descripción general por medio de un modelo conceptual general del prototipo de sistema GEDE, que consta de tres componentes básicos: Unidad Central de Procesamiento "GEDE UCP", Conmutador de Fuentes de Alimentación "GEDE CFA" y, Sistema para Supervisión y Control de Carga "GEDE SCC".

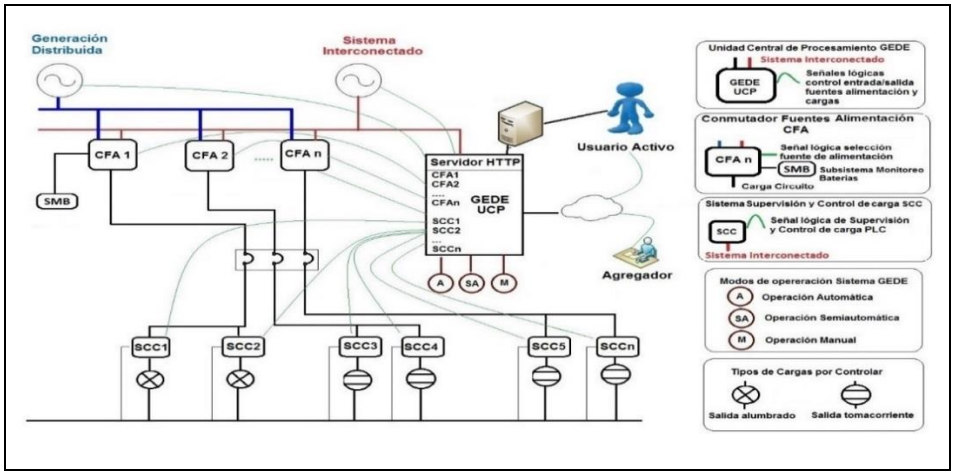


Figura 4.1 Modelo conceptual general del prototipo de sistema GEDE.
Fuente: Autora.

La Unidad Central de Procesamiento GEDE UCP, realiza el proceso de supervisión, monitoreo y control del Conmutador de Fuentes de Alimentación GEDE CFA y de Carga GEDE SCC. El primero de ellos realiza los cambios y/o selección de fuente de alimentación de manera manual, semiautomática o automática (Sistema interconectado (SI) y/o Generación Distribuida (GD)) y cuenta con el subsistema de monitoreo de baterías para saber cuánta energía tiene almacenada, y el segundo conecta o desconecta las cargas vinculadas al sistema.

En los siguientes apartados se explica la funcionalidad y el diseño de los módulos propuestos y la selección de los componentes del prototipo del sistema GEDE. Se realizó la representación de los módulos con diagrama de bloques en lugar de

diagramas esquemáticos, dada la complejidad que representan las múltiples conexiones. Sin embargo, dichos diagramas están disponibles en el Apéndice 6. En los diagramas mostrados, las señales de control implementan el protocolo de alto nivel HTTP para transferir información entre dispositivos el cual se ha convertido en el principal protocolo para la trasmisión de datos a través de internet, también conocido como over-the-top (Kua, Armitage, & Branch, 2017).

Las conexiones lógicas entre dispositivos se visualizan mediante líneas verdes, debido a que estas utilizan como medio físico de comunicación la línea de potencia –PLC (Meng, Ren, & Lin, 2017), es decir, la propia instalación eléctrica, esta tecnología se seleccionó para evitar el uso de otros sistemas cableados, aprovechar el alto ancho de banda que ofrece y evitar los puntos fuera de cobertura. De igual manera el usuario activo tendrá una interfaz gráfica para que gestione el sistema a través de un computador, o mediante un dispositivo móvil que utiliza el protocolo de comunicaciones IEEE 802.11x conocido comercialmente como Wi-Fi®, con compatibilidad universal y alta calidad de servicio (Xu, Aboubakr, Zhuang, & Shen, 2017) .

4.2.1 Funcionalidad y diseño Unidad Central de Procesamiento - GEDE UCP

La Unidad Central de Procesamiento -GEDE UCP, tiene como función principal recibir los datos de las señales de tensión, corriente y energía por la línea de potencia, es decir, el cableado físico que conforma la instalación eléctrica domiciliaria, que provienen del sistema de conmutación de fuentes de alimentación - GEDE CFA y del sistema de supervisión y control de carga - GEDE SCC. Los datos de las señales recolectadas se almacenan en una base de datos para ser gestionadas por el sistema y realizar los procesos de supervisión, monitoreo y control de los dispositivos. En la Figura 4.2 se presenta el modelo esquemático de los subsistemas que componen la Unidad Central de Procesamiento GEDE UCP.

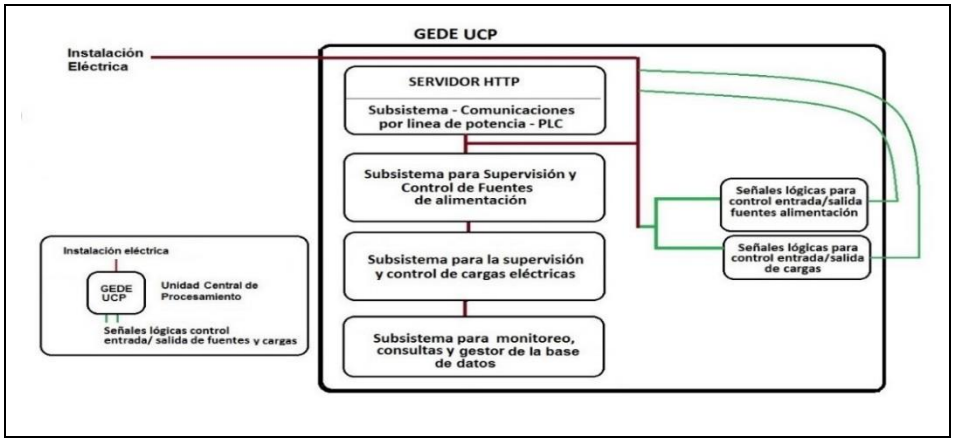


Figura 4.2 Modelo esquemático Unidad Central de Procesamiento GEDE-UCP.
Fuente: Autora

Funcionalidad de GEDE UCP

El componente GEDE UCP tiene como finalidad mantener el proceso de supervisión, monitoreo y control sobre los dispositivos que alimentan y/o consumen energía en la instalación eléctrica domiciliaria. Para cumplir con estas funciones, se ha subdividido en cuatro subsistemas:

Subsistema comunicación por línea de potencia:
Hace referencia a la implementación del nivel físico (nivel 1) del Modelo OSI (Open System Interconnection) (Colin, Mathieu, & Nakechbandi, 2016), mediante el uso del protocolo para comunicación por línea de potencia PLC, utilizando un modem que cuenta con una interfaz Ethernet para acceder a los servicios correspondientes al nivel de red TCP/IP, lo que permite realizar las siguientes funciones:

- Ejecutar el proceso de adaptación de la señal de datos al medio físico, que en este caso es la propia instalación eléctrica, mediante el uso del modem que implementa el protocolo PLC.
- Acceder mediante protocolo de alto nivel de transferencia de hipertexto HTTP el servidor web implementado con el fin de realizar la gestión del sistema a través de la interoperabilidad entre dispositivos.
- Permitir la interoperabilidad con los otros dispositivos de la red, dado que el GEDE UCP cuenta con una dirección IP versión 4, la cual es una etiqueta que tiene lógica y jerarquía, asignada de manera fija.

Es de acotar que todos los componentes del sistema GEDE, presentan interoperabilidad al contar cada uno con dirección IP distinta que lo ubica en el contexto del Internet de las cosas (Yager & Espada, 2018).

Subsistema supervisión y control de fuentes de alimentación:
- Seleccionar la fuente de alimentación a utilizar, de acuerdo a los niveles de tensión y corriente que toma el subsistema de medición de baterías SMB, o, a través del tipo de control de operación que se especifique (manual, semiautomático o automático).
- Realizar el balance energético de los componentes que hacen parte del GEDE para considerar las posibilidades de suministrar los excedentes de energía al sistema interconectado, realizando diariamente una relación entre la energía generada y la energía consumida proveniente de las baterías, con el fin de establecer la disponibilidad para autoconsumo o excedentes para entregar al agregador.
- Ejecutar las operaciones de control o conmutación de las fuentes de alimentación del sistema de acuerdo a las tres (3) opciones establecidas: automática, semiautomática o manual. Lo anterior se establece mediante la configuración de los parámetros de tensión de red y nivel de carga de las baterías. Para el caso manual, se deja a voluntad del usuario activo, de acuerdo a sus requerimientos.

Subsistema supervisión y control de cargas eléctricas:

- Realizar el proceso de supervisión y monitoreo de las cargas eléctricas. De manera periódica el sistema toma lecturas de tensión, corriente y energía, para conocer el estado de la carga, estos son almacenados en una base de datos para su posterior procesamiento, con el fin de conocer los consumos, tiempos de servicio, hábitos de consumo, etc, de cada dispositivo conectado al GEDE.
- Ejecutar las operaciones de control (encendido y/o apagado) de cargas eléctricas del sistema de acuerdo a las tres (3) opciones establecidas: automática, semiautomática o manual.

Subsistema monitoreo, consultas y gestor de la base de datos:

Este subsistema cuenta con un software implementado para la recolección de datos de medidas, transmisión a un servidor central, procesamiento, consultas y toma de decisiones. Las principales funciones son:

- Capturar, transmitir y almacenar las medidas de tensión, corriente y energía de GEDE – CFA y GEDE –SCC, a través del sistema gestor de bases de datos con el fin de procesarlos y ser visualizados por el usuario activo.
- Efectuar los procesos que implican la gestión activa de la demanda y aprovechamiento del sistema con energía renovable por medio de algoritmos en el software.
- Realizar el monitoreo del estado de operación del sistema en tiempo real, de acuerdo a las necesidades del usuario activo.

Diseño de GEDE-UCP

Para el diseño general de GEDE – UCP, se seleccionó un computador personal con sistema operativo Windows 10®, por la facilidad para la implementación de los sistemas de control y automatización. El sistema proporciona una interfaz de servidor web y servidor de datos, dando comodidad y rapidez para el Usuario activo. Para la comunicación se escogió un módulo PLC TP Link - TL-PA4010, con velocidades de hasta 500 Mbps (TP-Link, 2017), debido a su versatilidad, bajo costo, velocidad de transferencia de datos y sistema Plug and Play.

En la Figura 4.3, se observa el diagrama de bloques del diseño de la Unidad Central de Procesamiento GEDE-UCP, el cual consta de los siguientes dispositivos: Sistema de procesamiento basado en un sistema de computador personal, módulo para comunicaciones por línea de potencia, y la representación de los circuitos lógicos para comunicación con los sistemas GEDE-CFA y GEDE SCC.

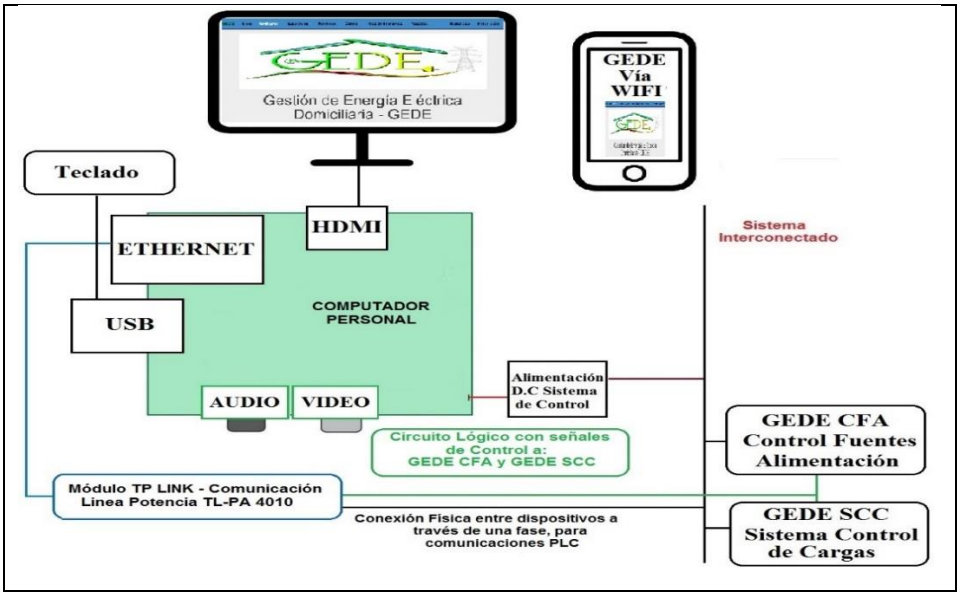


Figura 4.3 Diagrama bloques diseño Unidad Central Procesamiento. GEDE-UCP
Fuente: Autora

4.2.2 Funcionalidad y diseño Conmutador Fuentes Alimentación GEDE-CFA

El conmutador de fuentes de alimentación GEDE-CFA, se considera para dos tipos de fuentes, la red pública de energía o SI y el sistema de GD. El conmutador de fuentes de alimentación (Figura 4.4), interactúa con el sistema GEDE UCP mediante señales de control del protocolo HTTP, que se visualiza en el modelo mediante líneas verdes que representan conexión lógica y no física.

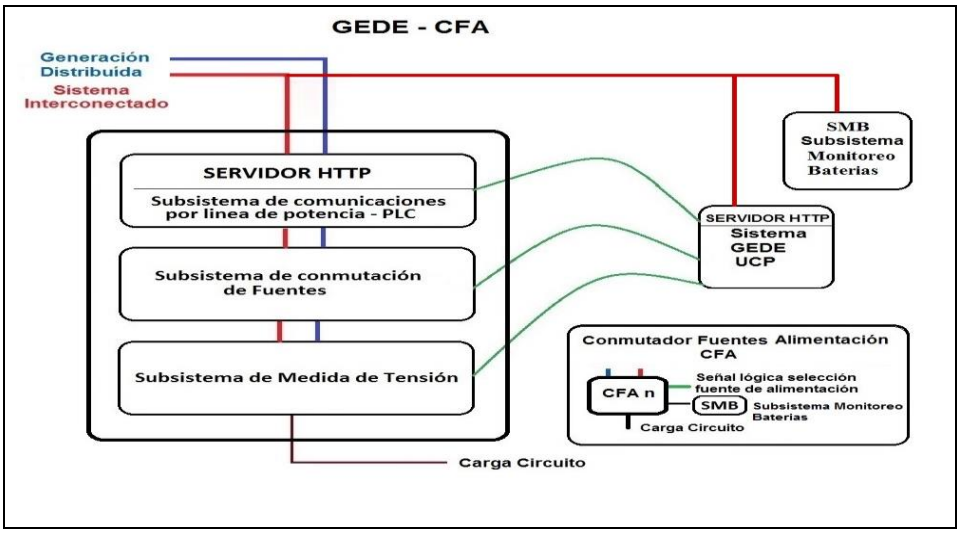


Figura 4.4 Modelo esquemático Sistema Conmutación Fuentes Alimentación CFA
Fuente: Autora

Funcionalidad del GEDE-CFA

La funcionalidad del sistema de conmutación de fuentes GEDE-CFA se relaciona a continuación:

- Recibir comandos de cambio y/o selección de fuente de alimentación, por parte del GEDE UCP, a través del servidor de protocolo HTTP, mediante el uso de librerías especializadas que implementan el servicio.
- Conocer el estado de operación y los parámetros de medida de la fuente que este alimentando la instalación, por medio del módulo de comunicaciones por línea de potencia que lo mantiene en permanente comunicación con el GEDE UCP.
- Realizar el cambio de fuente de alimentación por medio de un relé de conmutación electromecánico, el cual se utiliza por su cómoda instalación y facilidad en la transmisión de datos que viajan por la línea de potencia, además es más económico que otros relés que ofrecen comunicación incorporada.
- Efectuar las medidas en tiempo real de los valores de tensión, corriente y energía de la fuente de alimentación conectada, y paralelamente supervisa la fuente que está en espera de ser utilizada o disponible, lo cual se determina de la siguiente manera: en el caso del sistema interconectado, por la ausencia o presencia de tensión en el punto de conexión, y para la generación distribuida, por el nivel de tensión de las baterías y la información sobre energía almacenada en las mismas.
- Monitorear el SOC (estado de carga) de baterías con el fin de conocer la energía almacenada por medio del subsistema de monitoreo de baterías (SMB). Se monitorea a partir de la medición de la tensión y corriente de carga, con un cargador automático que corta el suministro al estar la batería totalmente cargada. Cuando comienza su descarga se tiene en cuenta la energía consumida por el GEDE que se descuenta del total de la carga.

Diseño del GEDE-CFA

En la Figura 4.5, se observa el diagrama específico de bloques del sistema GEDE-CFA, con los respectivos componentes que hacen parte de cada subsistema: subsistema de medida, subsistema de conmutación de fuentes de alimentación, y el subsistema PLC.

Los subsistemas de GEDE-CFA y la selección de sus respectivos componentes, son los siguientes:

Servidor HTTP:
Para el servidor HTTP se requiere una plataforma de hardware, aunque en el mercado existen varias alternativas de placas microcontroladoras con funcionalidades similares como por ejemplo: Raspberry PI (Raspberry, 2017), BeagleBone (Beaglebone, 2017) y el Arduino® (Arduino, 2017), entre otros. Se escogió el Arduino®, porque simplifica el proceso de trabajar cuando no se requiere gran procesamiento de datos, bajos costos de adquisición, permite interoperabilidad con diferentes sistemas operativos (multiplataforma) y su

software es de código abierto. El servidor Web implementado sobre el sistema Arduino® UNO equipado con microprocesador ATM 328 tiene una dirección IP, que interconecta con los demás dispositivos mediante la tarjeta Ethernet Shield y el módulo de comunicaciones por línea de potencia PLC. La invocación del servicio se hace con HTTP accesando páginas HTML (Hyper Text Markup Language).

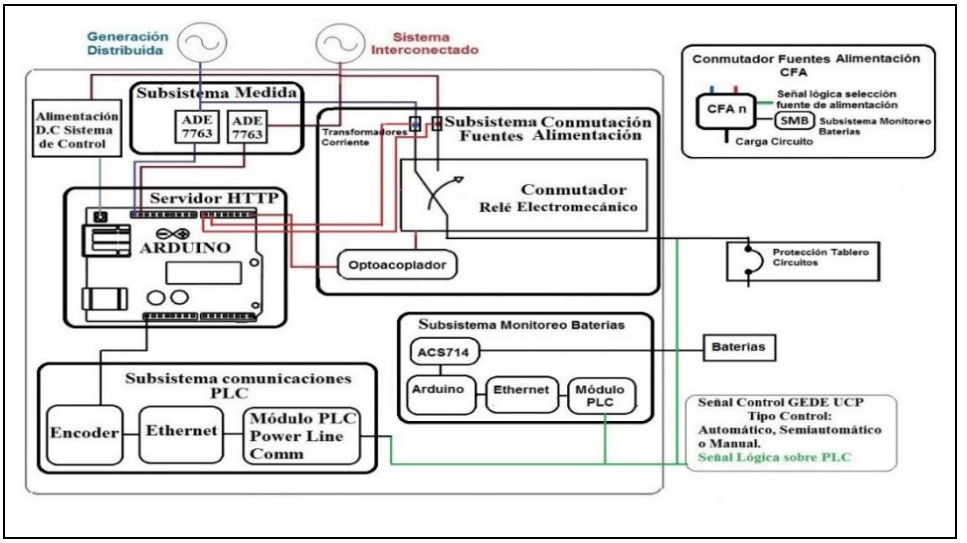


Figura 4.5 Diagrama bloques Sistema Conmutador Fuentes Alimentación GEDE-CFA. Fuente: Autora

Subsistema de medida:

Existen en el mercado varias empresas dedicadas a la fabricación de medidores entre las que se encuentra Analog Devices ®, quien fabrica diferentes tipos de interfaces capaces de procesar variables eléctricas y mostrar un gran número de parámetros sobre las medidas realizadas, entre ellas el consumo de energía. Para el subsistema propuesto se trabaja con el circuito de medición ADE 7763 que es un chip integrador digital con dos canales: uno de corriente y otro de tensión, con amplificador de ganancia programable que realiza medidas de potencia y energía con un rango de error menor al 0,1%. Cuenta con calibración digital de tensión, fase y una interfaz serial para suministro de datos (Analog Devices, 2017). La función principal de este subsistema es realizar la supervisión del estado de las dos fuentes de energía en todo momento.

Subsistema de conmutación de fuentes de alimentación:

Para la conmutación de las dos fuentes de alimentación por facilidad en la transmisión de datos que viajan por la línea de potencia se utiliza un relé electromecánico (Qian, Peschot, Osoba, Ye, & King Liu, 2017). Este relé es operado mediante una señal eléctrica emitida por el Arduino®, que actúa sobre un optoacoplador para proporcionar la señal de disparo manteniendo aislados los dos circuitos eléctricos: el de potencia y el de control (Nieto Vilardell, 2016). Como sensores de corriente se utilizan dos trasformadores de corriente marca YHDC,

referencia SCT013 de 100 A: 50 mA (YHDC, 2017). Para la toma de las dos señales de tensión se utiliza el divisor resistivo recomendado por el fabricante del circuito Analog Devices®, que consta de una resistencia de entrada de 600 kΩ en serie con una resistencia de 1 kΩ, de cuyo punto común se toma la entrada de tensión para el ADE7763, con el fin de medir la tensión de cada una de las fuentes.

Subsistema de comunicaciones por línea de potencia – PLC:
Para conformar este subsistema se requiere una tarjeta Ethernet que se adapte al Arduino®, como la placa Ethernet Shield equipada con procesador WIZ 5100 (Arduino Ethernet Shield, 2017), y forma parte junto con el Encoder del control de acceso al medio físico (MAC), con el fin de configurar la red doméstica y la asignación de la dirección IP correspondiente. Otro elemento es el módulo PLC, que adapta las señales de entrada y salida de datos que provienen del Arduino® y luego pasan por la tarjeta Ethernet, para mediante modulación digital colocar la señales sobre los conductores de la instalación eléctrica con el fin de permitir la comunicación con los demás dispositivos de la red, para esto se seleccionó y adaptó el módulo TP Link - TL-PA4010®.

Subsistema de Monitoreo de Baterías:
Con el fin de determinar la energía efectiva que poseen las baterías, se diseñó e implementó un sistema de medida con base en el sistema Arduino® y el circuito integrado para medir corriente ACS 714, seleccionado debido a que utiliza como principio de medida el efecto Hall que se basa en la caída de tensión a través de un conductor con corriente por medio de un campo magnético externo (Scelba, De Donato, Pulvirenti, Giulii, & Scarcella, 2016), lo que permite la medida de corriente continua proveniente de los paneles solares para cargar las baterías. Referente a la tensión se utiliza un divisor resistivo con el fin de adaptar la señal a una entrada análoga del Arduino®. Los datos se transmiten al GEDE-UCP, mediante el módulo TP-LINK, utilizando comunicación PLC, las cuales se almacenan en una tabla de la base de datos. El estado de la carga se realiza de manera indirecta con fundamento en la corriente de carga que cuando está cerca de 0 A, permite inferir una carga del 100% y con ese punto de partida se tiene en cuenta para la descarga, el consumo con energía proveniente del sistema de generación distribuida.

4.2.3 Funcionalidad y diseño Sistema Supervisión y Control Cargas GEDE-SCC

Con el fin de realizar la supervisión y control de la carga (alumbrado y tomacorrientes), se desarrolló un sistema de supervisión, monitoreo y control GEDE-SCC. El modelo conceptual se muestra en la Figura 4.6 y en él se detallan los siguientes componentes: subsistema de comunicaciones por linea de potencia, subsistema de medida de tensión y corriente, y el subsistema de control de encendido y/o apagado.

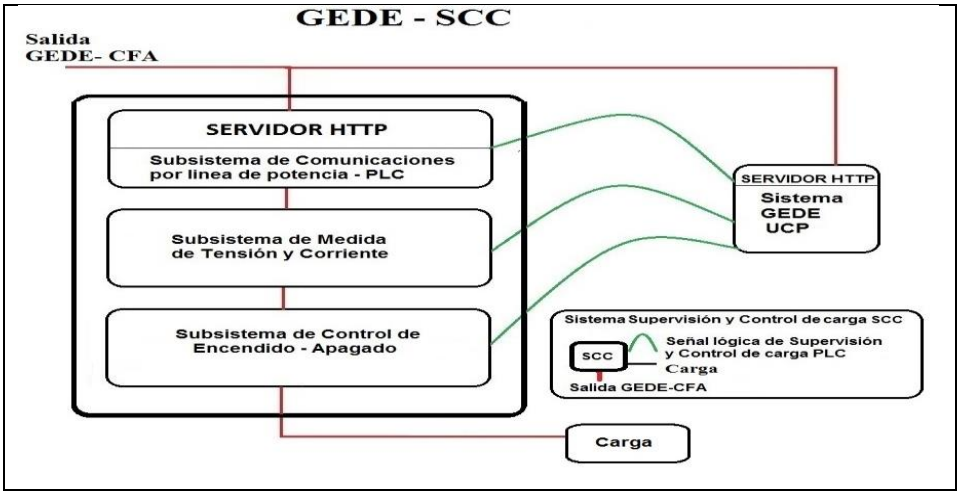


Figura 4.6 Modelo conceptual Sistema de Supervisión y Control de Carga-GEDE SCC
Fuente: Autora

Funcionalidad del GEDE-SCC

El sistema GEDE - SCC realiza las siguientes funciones:

- Recibir comandos para conectar o desconectar las cargas dependiendo del tipo de control (On/Off) que se estipule por medio de un servidor de protocolo HTTP (Hypertext Transfer Protocol).
- Realizar tareas de gestión, como son: el encendido y/o apagado, el monitoreo y supervisión de las cargas, con la ayuda del GEDE UCP.
- Efectuar la medida en tiempo real de los valores de tensión, corriente y energía de la carga que se encuentra conectada al tomacorriente o a la salida para alumbrado. Lo anterior debido a que el dispositivo cuenta con sensores de tensión realizados con divisores resistivos y medida de corriente utilizando un trasformador (TC).
- Conocer el estado de operación (encendido y/o apagado) y los parámetros de medida (tensión, corriente y energía) de los dispositivos que se encuentran conectados al GEDE- SCC, y se realiza procesando las señales de medida mediante software.

Diseño del GEDE-SCC

El diseño del sistema para el Control de Carga GEDE-SCC, el cual es un tipo de control de lazo abierto On-Off, consta de: subsistema de medida, subsistema de encendido/apagado, servidor de HTTP realizado con Arduino® y el subsistema de comunicaciones por línea de potencia –PLC. En la Figura 4.7, se observa el diagrama de bloques de los dispositivos de cada uno de los subsistemas. Los subsistemas de comunicaciones PLC y el servidor HTTP, se diseñaron y trabajan de la misma manera como se explicó en la sección 4.2.2, los demás subsistemas se explican a continuación.

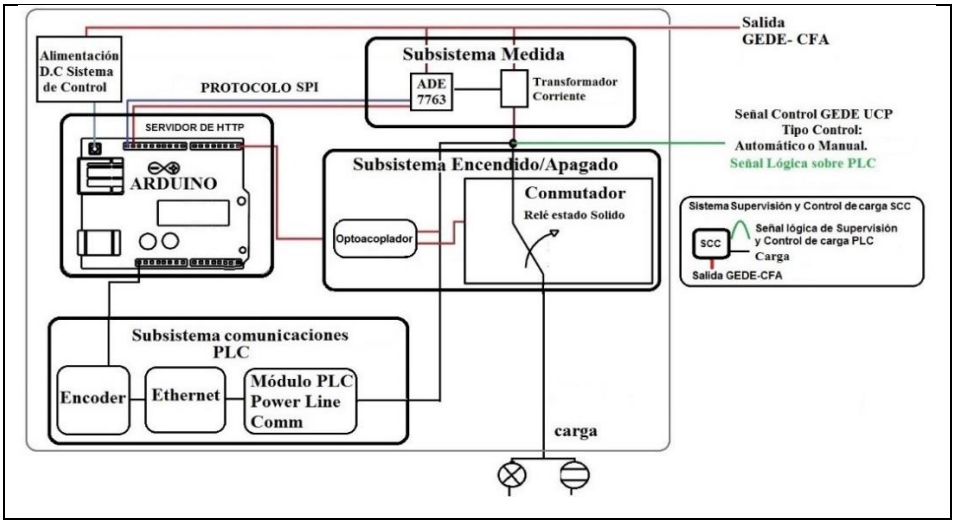


Figura 4.7 Diagrama bloques Sistema para Control de Carga. GEDE-SCC.
Fuente: Autora

Subsistema de medida:

Este subsistema trabaja con el circuito de medición ADE 7763 y un sensor de corriente, lo cual permite realizar la supervisión y el control de las cargas de la vivienda. Para establecer el sensor de corriente, se analizaron diferentes tipos como: Resistencia Shunt que da una medida precisa y directa de la corriente pero se puede calentar (Barbato , y otros, 2014), el transformador de Corriente (TC) es un elemento muy utilizado para este tipo de medida pues no requiere interrumpir el circuito a diferencia de los sensores Shunt o de efecto Hall que ocasionan distorsión en la forma de onda de la corriente, lo que conduce a un desempeño inadecuado de los relés de protección (Hajipour , Vakilian, & Sanaye-Pasand, 2015), la Bobina Rogowski utiliza un transductor de corriente en un entorno electromagnético (Tao, Zhao, Ma, Pan, & Hu, 2016). Para efectos de hacer una aproximación al contexto real, se utilizaron transformadores de corriente YHDC SCT013 de 100 (Seeed, 2017) ya que al instalarlos no es necesario realizar desconexiones y pasar la corriente a través del dispositivo de medida. La comunicación entre ADE7763 y el Arduino®, se realiza mediante el Protocolo SPI (Serial Peripheral Interface), que hace la transferencia de información entre circuitos integrados de corta distancia (Shin, y otros, 2017).

Subsistema de encendido y/o apagado:

Para este subsistema se implementó un relé de estado sólido (Triac), es operado mediante una señal eléctrica emitida por el Arduino®, que actúa sobre un optoacoplador MOC-3011, con el fin de desacoplar la señal de control de la de potencia. Las condiciones de operación para encendido o apagado están sujetas a los modos de operación (manual, semiautomático o automático), que seleccione el Usuario activo. Con relación a los modos semiautomático y automático, están parametrizados bajo algoritmos en el software desarrollado.

4.2.4 Diseño del Modelo Lógico de Red de comunicación de GEDE

Los componentes GEDE UCP, GEDE CFA y GEDE SCC transfieren datos a través de la red al comunicarse unos con otros, por esto es necesario diseñar la conexión entre ellos mediante un modelo lógico de red de comunicaciones (Dvořák, Novák, & Kocourek, 2014), que se desarrolló con la herramienta Microsoft Visio®, utilizando analogías con el modelado de UML® (Lenguaje de modelado unificado), para representar los componentes activos de la red como el elemento denominado "Nodo" (Estévez , Sánchez García, Gámez García, & Gómez Ortega , 2017).

Como se muestra en la Figura 4.8, los tres componentes del sistema GEDE, se representan en el modelo con el elemento físico "Nodo", que tiene memoria, capacidad de procesamiento y control. Se observa también otros elementos de red como enrutadores, la nube de Internet y el bus Ethernet, el cual trabaja sobre el nivel físico de la instalación eléctrica utilizando protocolo PLC (Meng, Ren, & Lin, 2017). Los actores UML® del sistema que se incorporan corresponden al usuario activo y al agregador.

Cada uno de los nodos tiene como referencia un número de dirección IP con nivel de red TCP/IP para la entrega confiable de paquetes de datos (Luo, Jin, & Shan, 2017). Dicha dirección se asignó para las pruebas del prototipo, pero pueden ser diferentes dependiendo del tipo de red que se configure. Lo importante del modelo es que resalta que cada uno de los elementos que se gestionan en la instalación eléctrica tiene una dirección IP asignada.

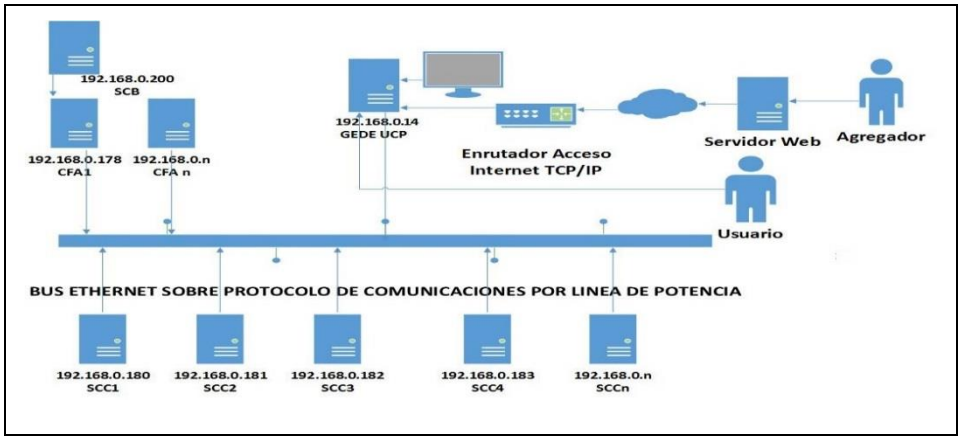


Figura 4.8 Modelo Lógico de la Red TCP/IP del Sistema GEDE.
Fuente: Autora

4.3 Desarrollo del prototipo del sistema GEDE

Con los diseños respectivos de cada uno de los módulos se procedió al desarrollo de los mismos. La Figura 4.9, muestra las fotografías específicas desde varios ángulos de los módulos que componen el prototipo de sistema GEDE.

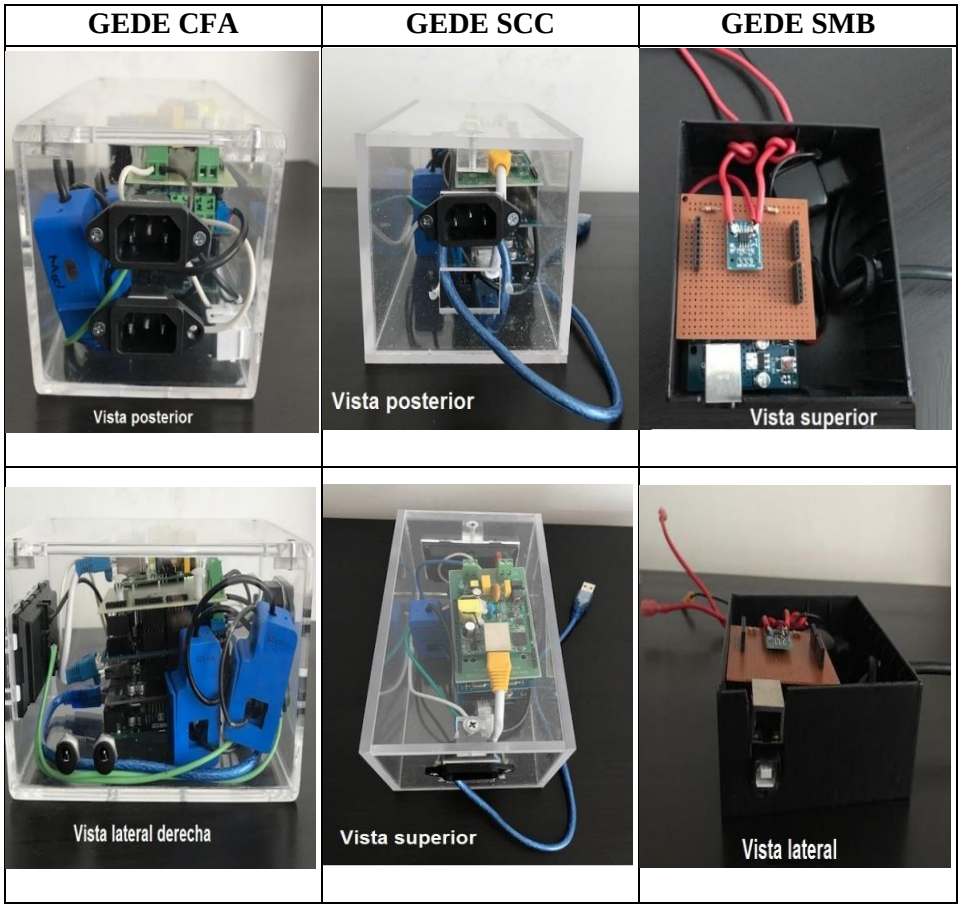


Figura 4.9 Fotografías específicas de los módulos GEDE.
Fuente: Autora

De acuerdo a los dispositivos seleccionados para el desarrollo de cada uno de los módulos del prototipo de sistema de gestión GEDE, se procede a realizar la lista de materiales y el presupuesto discriminado (Ver Apéndice 7). Al elaborar los módulos GEDE-CFA, GEDE -UCP y un solo módulo GEDE-SCC, el costo del prototipo estaría alrededor de $ 606.500,00 (Seis cientos seis mil quinientos pesos/moneda corriente); sin embargo, para efectos de analizar la gestión energética en varias salidas de carga se propone utilizar cuatro GEDE-SCC, teniendo presente que cada módulo vale $152.500 (ciento cincuenta y dos mil quinientos pesos/ moneda corriente). El costo total del prototipo es de $1.200.000 (Un millón doscientos mil pesos/moneda corriente).

Los costos mencionados se refieren al prototipo experimental y no incluyen los costos de instalación en una residencia. Por otra parte, se realizó una investigación de precios en el mercado sobre producción en serie de componentes electrónicos, encontrándose que el valor puede reducirse aproximadamente en un 30% en relación con el costo del prototipo. Otros costos no incluidos y que están asociados son: el uso de servidores para la manipulación de los datos y el mantenimiento del

sistema; estos se vuelven costos indirectos de apoyo en el momento de centralizar el manejo por medio de una empresa que administre la instalación y supervisión de los sistemas en general.

Se resalta la realización de experimentaciones adicionales paralelas con proyectos de estudiantes de pregrado enfocadas al sistema de gestión implementado (Bautista & Diaz, 2017), (Clavijo & Herrera, 2016).

En la Figura 4.10, se muestra una foto del prototipo de sistema GEDE, en donde se observa: el GEDE CFA, GEDE SCC, y GEDE SMB.

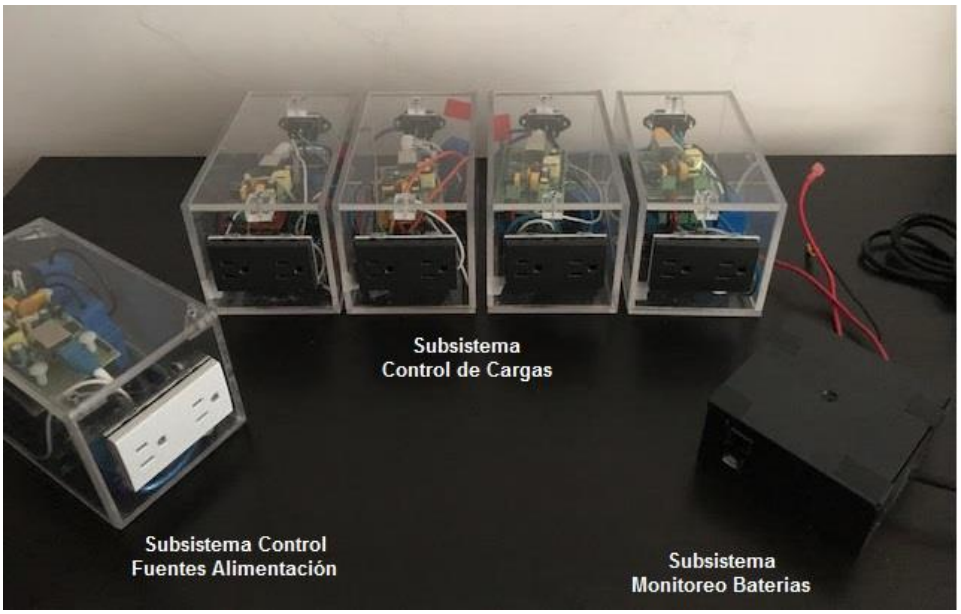


Figura 4.10 Fotografía del Sistema GEDE con todos sus módulos.
Fuente: Autora

La ficha con las especificaciones técnicas se observa en la Tabla 4.1.

FICHA DE ESPECIFICACIONES TECNICAS		
CARACTERÍSTICAS	**GEDE - CFA**	**GEDE - SCC**
FÍSICAS		
Dimensiones:	Largo: 19 cm Ancho: 10.5 cm Alto: 10.5 cm	Largo: 19 cm Ancho: 10.5 cm Alto: 10.5 cm
Peso:	575 g	575 g
Material de la estructura	Acrílico transparente	Acrílico transparente
Fuentes de Alimentación	Dos (2)	Una (1)
Entrada de Alimentación	Dos sockets estándar para Fuente de PC	Un socket estándar para Fuente de PC
Entrada para programación	Puerto USB 2.0	Puerto USB 2.0
Salidas para Carga	Tomacorriente doble	Tomacorriente doble
ELÉCTRICAS		
Tipo de control	Dos (2). Fuente sistema Interconectado y Fuente Generación Distribuida.	Una (1) salida para carga

Potencia	1200 W, con posibilidad de escalarlo cambiando el relé conmutador.	1200 W, por cada módulo que controla cargas.
Fases	Una (1) por fuente de alimentación. Advertencia: La posición de la Fase no puede intercambiarse con el neutro debido a que se utiliza como referencia para el sistema de medida.	Una (1) por carga. Advertencia: La posición de la fase no puede intercambiarse con el neutro debido a que se utiliza como referencia para el sistema de medida.
Conexiones Físicas	Trifilar. (Fase, Neutro y Tierra) para cada fuente	Trifilar. (Fase, Neutro y Tierra) para la carga
Tensión de Alimentación	127 V (+/-) 10%	127 V (+/-) 10%
Corriente alimentación	0,021 A	0,021 A
Consumo del módulo	2,52 W	2,52 W
MEDICIÓN Y CONTROL		
Rango para medidas de tensión-Clase	0-150 V Clase: 0.5%	0-150 V Clase: 0.5%
Rango para medidas de corriente-Clase	0-100 A Clase: 0.5%	0-100 A Clase: 0.5%
Corriente Nominal carga controlada por tipo de relé	10 A	10 A
Tipos de conmutador	Relé Electromecánico para operar a plena carga conmutando fuentes	Relé de estado sólido para operar a plena carga.
PROTOCOLOS COMUNICACION		
Alto Nivel	Protocolo Transferencia de Hipertexto	Protocolo Transferencia de Hipertexto
Nivel de Red	Internet Protocol	Internet Protocol
Nivel de Enlace	Fast Ethernet	Fast Ethernet
Nivel Físico	Power Line Communication	Power Line Communication
Comunicación entre Arduino, Ethernet y módulo medida.	SPI-Serial Peripherical Interface	SPI-Serial Peripherical Interface
HARDWARE INTERNO		
Unidad Central de Proceso	Microprocesador ATM 328, en tarjeta Arduino® UNO.	Microprocesador ATM 328, en tarjeta Arduino® UNO.
Ethernet Shield	IC-WIZ 5100 en tarjeta Arduino®	IC-WIZ 5100 en tarjeta Arduino®
Tarjeta de Medida	Diseñada y construida completamente para el proyecto a partir del ADE7763®, sensor de corriente: transformador de corriente 100 A. Para SMB: sensor de corriente ACS 714, 30 A	Diseñada y construida completamente para el proyecto a partir del ADE7763®, sensor de corriente: transformador de corriente 100A.
Modem comunicaciones PLC	Modem TP-LINK TL-PA-4010, 500 Mbps.	Modem TP-LINK TL-PA-4010, 500 Mbps.
SOFTWARE		
Arduino	Versión 1.0, implementado en C, con ambiente integrado de desarrollo Arduino®.	Versión 1.0, implementado en C, con ambiente integrado de desarrollo Arduino®.

Tabla 4.1 Ficha técnica del sistema de gestión GEDE
Fuente: Autora

4.4 Diseño y desarrollo del software para el sistema GEDE

El diseño y desarrollo del software para gestionar el sistema GEDE consta de cinco subsistemas, estos se observan en el diagrama de casos de uso de la Figura 4.11, de igual manera tiene dos actores principales: el usuario activo quien gestiona el sistema según sus hábitos y el agregador quien recibe información para efectuar gestión energética.

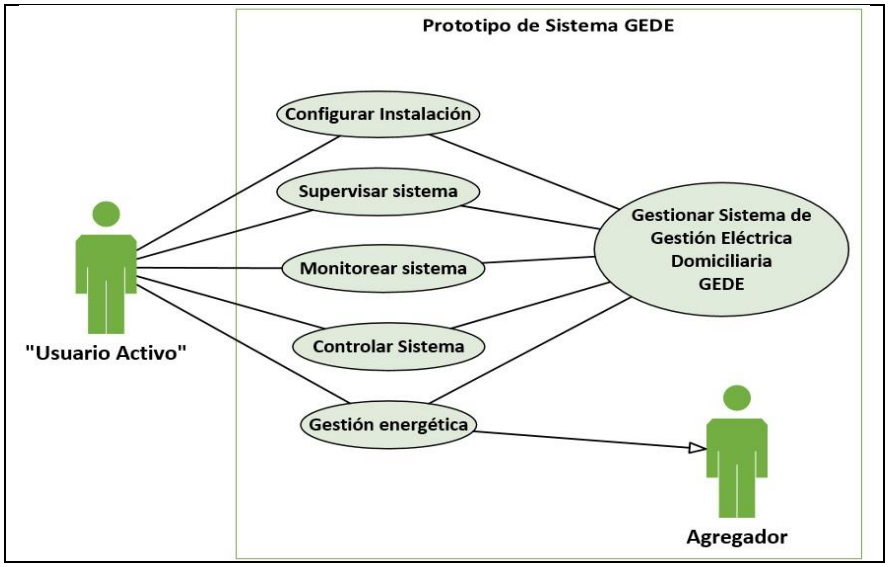


Figura 4.11 Diagrama de casos de uso del sistema GEDE.
Fuente: Autora

4.4.1 Diseño de los subsistemas del software

Cada uno de los subsistemas está diseñado con varias opciones que le permiten al usuario navegar dentro de la aplicación para seleccionar la acción que más se adecue a sus necesidades. Las opciones de todos los subsistemas se observan en la Figura 4.12.

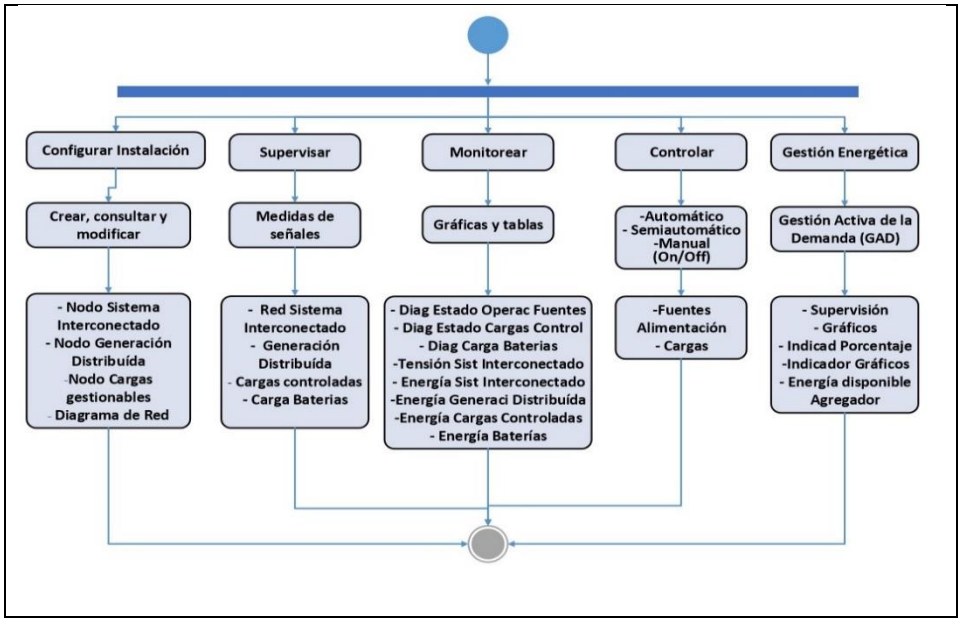


Figura 4.12 Diagrama de actividades del sistema GEDE.
Fuente: Autora

A manera de ejemplo, con el subsistema “Configurar Instalación”, se puede crear, consultar y modificar los nodos establecidos por el usuario para gestionar la instalación eléctrica.

4.4.2 Subsistema de Gestión para supervisión, monitoreo y control de señales

El software para la supervisión, el monitoreo y el control de las señales eléctricas (tensión, corriente y energía), se realizó bajo el ambiente de desarrollo del sistema Arduino®, tiene un entorno integrado que simplifica el proceso de trabajar con los dispositivos electrónicos, funciona con diferentes sistemas operativos y es de código abierto escrito en Java. Otro elemento importante son las librerías de acceso libre, las cuales pueden ser la base para proyectos relacionados. En el Apéndice 8 se encuentra el desarrollo del software realizado bajo el entorno Arduino®.

4.4.3 Desarrollo de la Aplicación WEB

Para la Aplicación Web, que se ejecuta desde un computador personal o en un dispositivo móvil, se utilizó sistema operativo Windows 10®, motor de base de datos SQL Sever 2016® y servidor de aplicaciones Internet Information Server 8.0. Se utilizó como ambiente integrado de desarrollo Visual Studio 2015®, lenguaje de programación C# para la lógica de aplicación, HTML 5.0 para la interfaz gráfica de usuario, y patrón de diseño y desarrollo el modelo vista controlador MVC5®. Las herramientas y software de propiedad de Microsoft® están licenciadas en los acuerdos de Campus Agreement de la Universidad Distrital. Algunos de los componentes del código del software se observan en el Apéndice 9. En la Figura 4.13 se encuentra la página de inicio donde están los diferentes menús de ejecución del sistema.

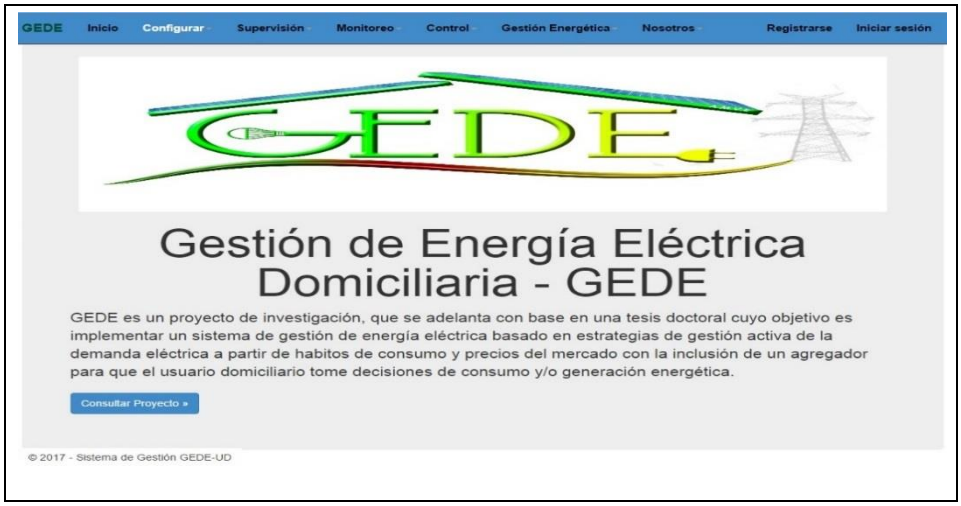


Figura 4.13 Página de inicio aplicación GEDE.
Fuente: Autora

La aplicación web realiza las tareas de integración de los diferentes componentes del sistema GEDE, para la gestión, a continuación se detalla cada uno de los menús de opciones:

Configurar

En este menú el usuario activo configura las características de los nodos: sistema interconectado (Código, Nombre, Estrato, Tarifa), Generación distribuida (Código, Nombre, Marca Panel), las cargas gestionables, es decir, las cargas que cuentan con un módulo GEDE-SCC (Código, Nombre) y el diagrama de configuración de la red, donde se visualiza la dirección IP que se asigna en este mismo menú (Figura 4.14).



Figura 4.14. Menú configurar – cargas controladas
Fuente: Autora

Supervisión

Este menú permite observar en tiempo real las medidas (tensión, corriente y energía) del sistema interconectado, la generación distribuida, las cargas controladas y la carga de las baterías, por medio de tablas en donde se presenta en orden cronológico los datos o de acuerdo al periodo de tiempo que se requiera consultar.

Monitoreo

El menú despliega seis opciones: Operación fuentes, Tensión red sistema interconectado, Energía red sistema interconectado, Energía generación distribuía, Energía cargas controladas y Energía de Baterías. El primero de estos, muestra en tiempo real las medidas y el tipo de fuente con el cual está funcionando el sistema. Con las demás opciones se monitorea con gráficas el comportamiento de la señal seleccionada en el intervalo de tiempo que se requiera. En la Figura 4.15, se observa un ejemplo del diagrama de operación de las fuentes de alimentación que la aplicación tiene para indicar con qué tipo de fuente funciona el sistema en tiempo real.

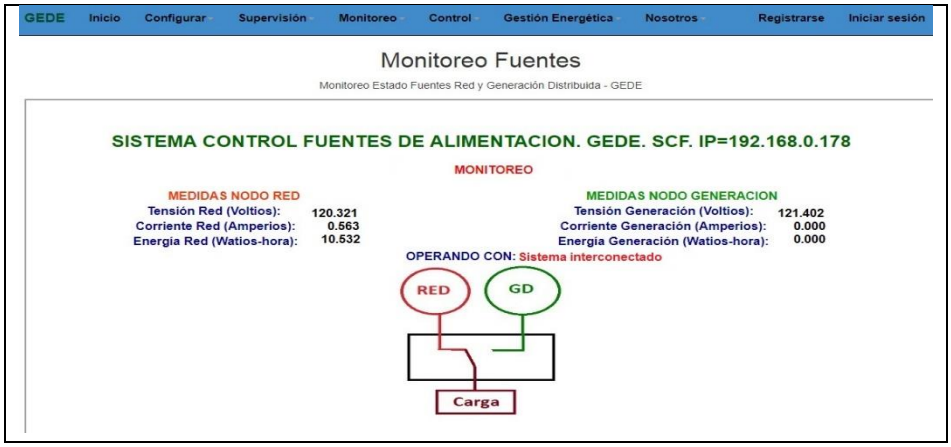


Figura 4.15. Diagrama estado operación fuentes de alimentación
Fuente: Autora

Control

Con este menú se controla tanto las fuentes de alimentación como las cargas conectadas al sistema GEDE, teniendo en cuenta los modos de operación: manual, semiautomático y automático. Con relación al modo manual la aplicación cuenta con dos botones para realizar el control de fuentes o de cargas (on/off) de acuerdo a sus requerimientos. La opción de control semiautomático da la alternativa de escoger la fecha y la hora determinada para programar el uso de la fuente de alimentación o de la carga. Con relación al control automático, cuando se selecciona, el sistema cambia a generación distribuida por si solo de acuerdo a la capacidad de las baterías, dejando un mínimo de almacenamiento de un 20%.

Para las cargas, el modo automático se manipula de acuerdo con la prioridad que establezca el usuario para el uso de las cargas cuando el sistema está con generación distribuida (baterías), dicho porcentaje sirve de referencia para desconectar la carga, por ejemplo, si se asigna 80%, esa carga se desconectará cuando la batería alcance ese porcentaje.

Gestión energética

Realiza el balance energético que permite establecer los excedentes de energía por medio de las siguientes opciones:

- GAD Supervisión: se observa la fecha, la energía de las baterías, la energía generada, la energía consumida, la energía de las cargas controladas y la energía disponible.
- GAD – Gráficos: muestra la comparación entre la energía de real de referencia y la energía consumida con el GEDE (Figura 4.16).
- GAD – Indicadores: se observa una tabla con los porcentajes de los indicadores (Ahorro factura, Impacto en la curva, Ahorro por autogeneración, Ahorro por emplear el tipo de control automático, Ahorro por emplear el tipo de control semiautomático) con los cuales se proyecta el ahorro diario, mensual y anual.

- Energía disponible agregador: En donde se observa la fecha de la oferta y los posibles excedentes para comunicarlos al agregador.

Control de acceso
Se realiza la verificación del usuario activo debidamente registrado en el sistema para su respectiva administración.

El manual del usuario de la aplicación para el uso del sistema GEDE se encuentra en el Apéndice 10, donde se observan las demás ventanas de configuración y otros elementos de la gestión activa de la demanda que se realizan.

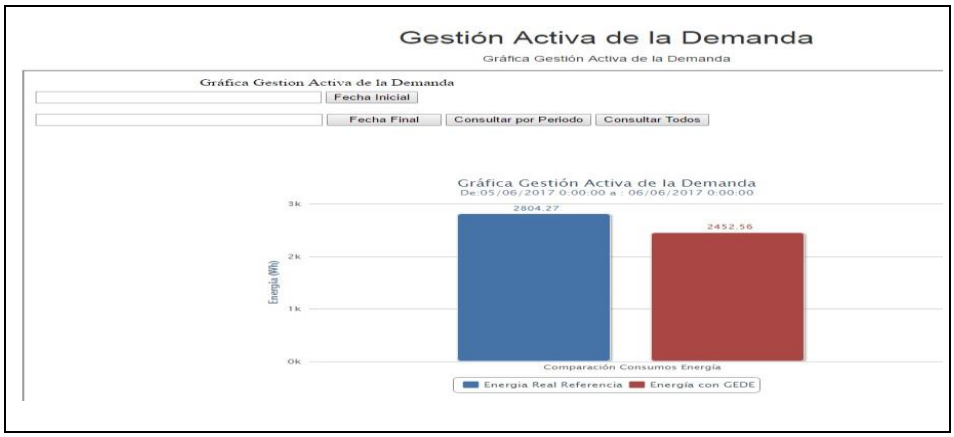


Figura 4.16. Gestión activa de la demanda-Gráficos
Fuente: Autora

4.4.4 Diseño e implementación de la base de datos

La base de datos del sistema GEDE, almacena las medidas provenientes de los módulos que conforman el sistema entre ellos GEDE-UCP, GEDE CFA y GEDE-SCC. Su diseño se realizó con el modelo entidad relación, efectuando normalización a tercera forma normal y como herramienta se utilizó el sistema gestor de bases de datos SQL SERVER 2016®, cuyo diagrama de relaciones se muestra en la Figura 4.17.

Una descripción breve de las tablas que conforman la base de datos se presenta en los siguientes párrafos.

Tablas para Nodos sistema interconectado, Nodos generación y Nodos cargas
Las tablas están conformadas por campos donde se almacena la información relacionada con los nodos de fuentes de alimentación y nodos de carga de la instalación eléctrica. El nodo correspondiente al SI tiene que ver con los datos básicos del operador de red o empresa que provee el servicio de energía, el nodo de generación con los datos del sistema solar fotovoltaico, y el nodo de carga controlada con el manejo de las cargas. Cada uno de los nodos tiene un identificador único y una dirección IP asociada.

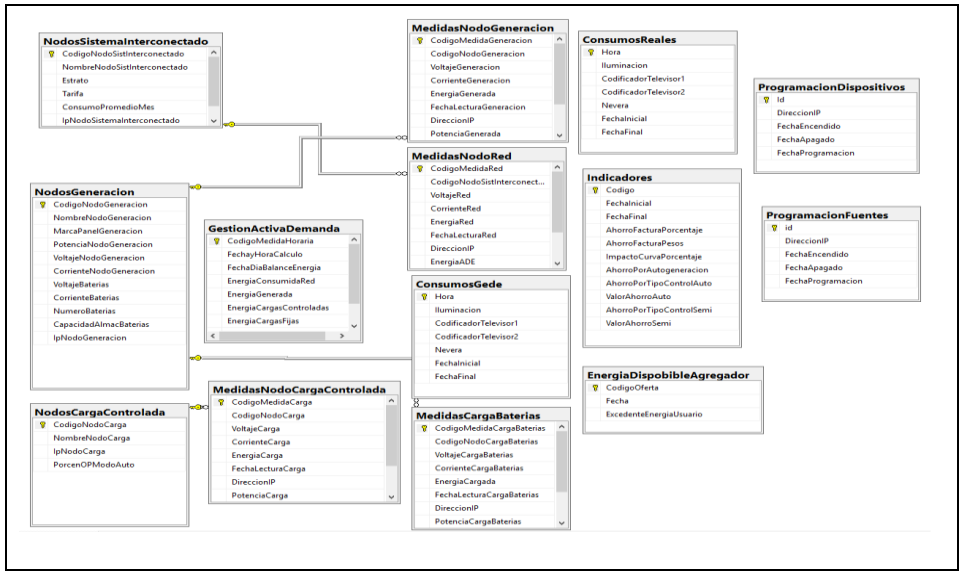


Figura 4.17 Diagrama relacional base de datos GEDE.
Fuente: Autora

Tablas medidas eléctricas

Estas tablas son asociadas mediante relaciones a los nodos correspondientes de tal forma que los datos generados por los mismos se almacenan en cada una de las cuatro tablas: MedidasNodoRed, MedidasNodoGeneración, MedidasNodosCargaControlada y MedidasCargaBaterias, con el fin de tener datos sobre operación del sistema. Los datos que se almacenan se identifican por un código único, código del nodo, valor de la tensión, corriente, energía, fecha y hora de la medida y la dirección IP.

Tablas programación

Las tablas ProgramacionDispositivos y ProgramacionFuentes, permiten realizar los procesos de control de prendido y/o apagado en los modos automático y semiautomático.

Tablas relacionadas con la gestión activa de la demanda

Las tablas que permiten desarrollar la GAD son: GestionActivaDemanda, Indicadores, ConsumosReales y ConsumosGEDE. Ellas almacenan los cálculos del balance energético que se realiza una vez al día, este tiempo se determinó por conveniencia para ayudar al sistema en hora pico, con el fin de conocer la relación entre la energía consumida de la red, la energía generada y la energía consumida por las cargas, y establecer la energía diaria disponible. La energía disponible con destino al agregador se implementó mediante un procedimiento almacenado con la siguiente operación:

$$EDA = EG * ECB \qquad (4.1)$$

Donde:
EDA = Energía disponible agregador
EG = Energía generada en el día
ECB = Energía consumida batería en el día

Tabla energía disponible Agregador
En esta tabla se almacena el registro diario de excedentes, de acuerdo al uso de generación distribuida que se haya realizado y se obtiene del proceso GAD, de tal forma que la información relacionada con código oferta, fecha y energía disponible se transmitirá al agregador para que pueda ofertar la energía. De no haber excedentes este campo se diligencia en cero.

4.5 Implementación y resultados experimentales del sistema GEDE

Las pruebas que se realizaron tienen como finalidad cotejar que el prototipo de sistema GEDE, es capaz de realizar los procesos relacionados con la gestión energética domiciliaria, teniendo como base la supervisión, el monitoreo, control de cargas y de fuentes de alimentación. Para tal efecto se realizaron pruebas de calibración de medidas eléctricas, pruebas de comunicación de los módulos, pruebas de operación tanto de GEDE –SCC y GEDE – CFA y pruebas de integración de todos los módulos del prototipo para ver su funcionamiento.

4.5.1 Calibración de medidas eléctricas

La calibración es una relación entre los valores obtenidos y los patrones de medida, lo cual permite obtener un resultado a partir de una indicación (Centro español de metrología, 2017). Los subsistemas GEDE –CFA y GEDE-SCC, requieren que la medición de los parámetros eléctricos sean confiables, para esto se emplearon los circuitos integrados ADE7763, a los que se les realizó un proceso de calibración, de acuerdo al protocolo mostrado en la Figura 4.18.

Por otra parte, el instrumento patrón fue el analizador de redes Fluke Energy Analyzer 430, que mide parámetros del sistema eléctrico, como tensión, corriente, potencia, energía, con un tiempo de medida ajustable hasta a 0,5 s, de acuerdo a la norma CEI 61000-4-30 para un equipo Clase A (Fluke brands, 2017).

Ajustar Comunicación SPI entre el Arduino® y el ADE7763

Se realizó el montaje de los dispositivos de acuerdo al Apéndice 11, y se efectuaron pruebas de comunicaciones, encontrando que se pudo establecer comunicación entre los dos dispositivos en el Modo 1 del Serial Pheripherical Interface - SPI del ADE 7763, en donde el reloj comienza en un nivel bajo y el MOSI (Master Output Slave Input) empieza en un nivel alto o bajo. Para esto se adicionó la siguiente línea de código al software de programación:

SPI.setDataMode (SPI_MODE1); //Selección del Modo 1, para señales MOSI y MISO para la comunicación con el ADE

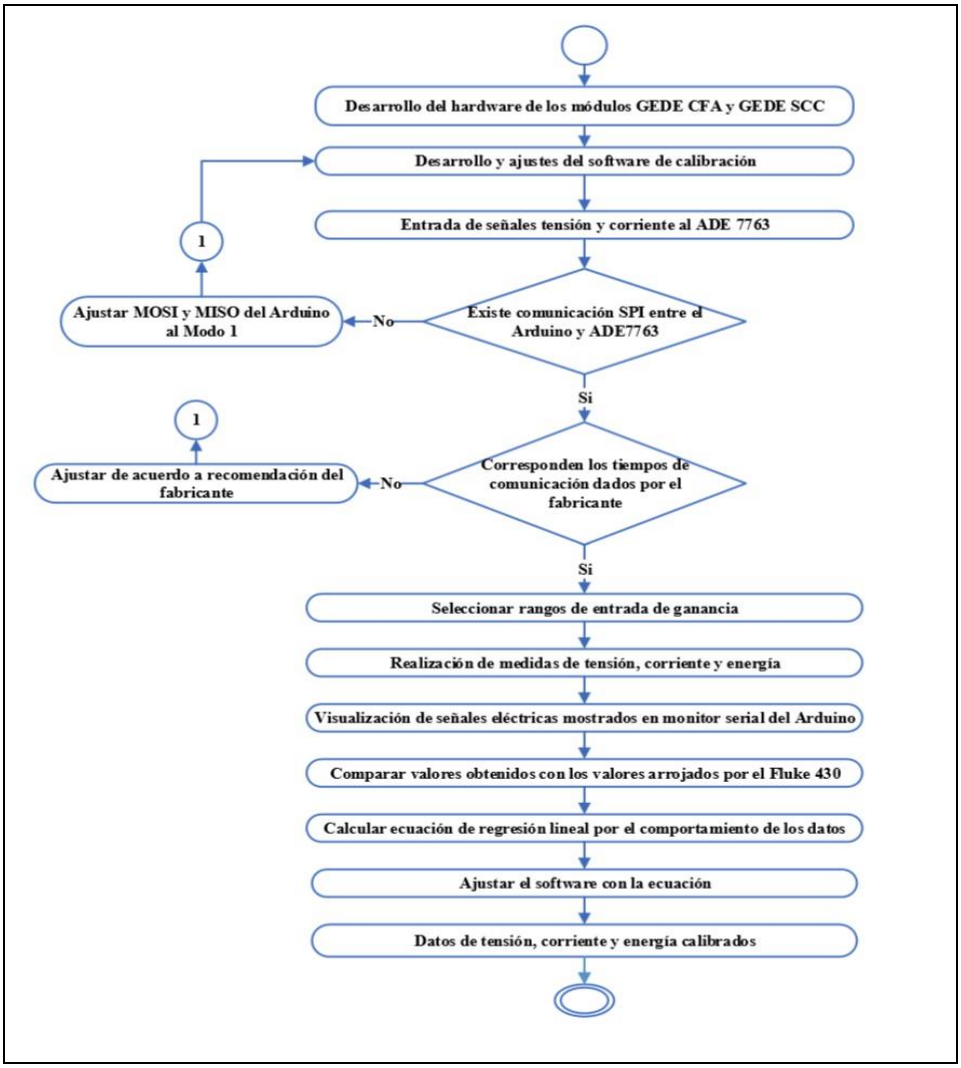


Figura 4.18 Protocolo calibración subsistemas medidas GEDE–CFA y GEDE-SCC
Fuente: Autora

Ajuste de tiempos de comunicación

Se realizó el ajuste del tiempo de la comunicación entre dispositivos de acuerdo con las especificaciones dadas por el fabricante, el cual recomienda que los ciclos del reloj utilizados para la comunicación SPI, por medio del Pin SCLK o SCK se divida entre 4, para que exista mayor confiabilidad y menor perdida de datos en el proceso de comunicación. Lo anterior se implementa en la siguiente línea de código:

SPI.setClockDivider (SPI_CLOCK_DIV4); //Se ajusta el tiempo de comunicación entre el ADE y el Arduino® para hacerla más //lenta buscando mayor confiabilidad de acuerdo a las especificaciones del fabricante mediante el comando del protocolo SPI.

Rangos de entrada

Se creó un archivo denominado "ADE7763" en el entorno de programación del Arduino® que permite configurar la ganancia para los canales de tensión y corriente en 8 rangos específicos, que vienen por defecto, para permitir su calibración en concordancia con los trasformadores de corriente que se utilizan.

Para efectos de la configuración de señal de entrada de tensión se fijó la sugerida en el manual como 0,5 V ya que ofrece mayor precisión en las lecturas. La manera cómo se ajusta la ganancia en relación con el contenido del registro (Analog Device, 2017), se muestra en:

$$OutputWGAIN = (EnergíaActiva * \left[1 + \frac{WGAIN}{2^{12}}\right] \qquad (4.2)$$

Donde:
WGAIN = Valor del registro configurado por el usuario.

Realización de medidas

Los valores de tensión, corriente y energía se encuentran almacenados en forma binaria con longitud de 24 bits (3 bytes) en los registros del ADE7763 con direcciones en hexadecimal: 17, 16 y 2 respectivamente. Para acceder a la información de dichos registros se requiere el proceso de lectura byte por byte, por medio del comando SPI.transfer (dirección del registro), de acuerdo a la siguiente línea de código:

SPI.transfer(0x17); // Escribe la dirección del registro al que se va a leer, en este caso el registro 17 corresponde a la señal de //tensión que está leyendo el ADE7763

Con las medidas de corriente y tensión se obtiene la potencia, e integrando la potencia en el tiempo se obtiene la energía de la carga, de acuerdo a las siguientes fórmulas (Analog Device, 2017):

$$P = \frac{1}{n*T}\int_0^{nT} p(t)\, dt = V * I * \cos\, \theta \qquad (4.3)$$

Donde:
P = Potencia activa o real
n = Número de periodos
T = Periodo
p(t) = Potencia en función del tiempo
V = Voltaje rms
I = Corriente rms

$$E = \int P\, dt \qquad (4.4)$$

Donde:
E = Medida de energía activa

Comparación de valores obtenidos con instrumento patrón

Para la calibración se emplean elementos de laboratorio de la Universidad Distrital como Fluke Energy Analyzer 430, multímetro de precisión y un variac para realizar las variaciones de tensión para diferentes rangos. El módulo GEDE–CFA emplea dos (2) integrados ADE7763 y GEDE-SCC emplea uno (1) por salida de carga. Para efectos prácticos en el documento se presentan los datos de calibración obtenidos de cuatro de los ADE que están involucrados dentro del prototipo, relacionados del 1 al 4; lo anterior se debe a que el patrón de medida es diferente en cada dispositivo pese a que tienen las mismas especificaciones técnicas, por lo tanto se debió realizar el proceso de toma de medidas y calibración por separado para ajustar el algoritmo en el software de programación. De igual manera se realizó la calibración con dispositivos típicos de las residencias y se pudo establecer que el GEDE-SCC, mide consumos menores a 1 W.

Para calibrar cada uno de los integrados se realizó una serie de mediciones de los parámetros de tensión y corriente, realizando pruebas con un transformador de corriente, cambiando la relación de trasformación hasta 11 espiras, con el fin de ver el comportamiento para los diferentes rangos de corriente. En la Tabla 4.2 se muestran los datos obtenidos para el valor eficaz de la corriente, en cuatro de las pruebas realizadas al ADE No 1.

	Prueba - 1 Espira		Prueba - 5 Espiras		Prueba - 7 Espiras		Prueba - 11 Espiras	
Variac (V)	ADE (A)	FLUKE (A)	ADE (A)	FLUKE (A)	ADE (A)	FLUKE (A)	ADE (A)	FLUKE (A)
5	0,20	0,29	1,77	2,66	2,59	3,89	3,43	4,90
10	0,25	0,36	1,87	2,82	2,73	4,10	3,62	5,40
15	0,29	0,42	1,98	2,97	2,87	4,31	4,12	6,18
20	0,33	0,48	2,08	3,13	3,01	4,52	4,8	7,17
25	0,36	0,54	2,18	3,28	3,15	4,73	5,32	7,94
30	0,39	0,58	2,29	3,43	3,29	4,94	5,89	8,79
35	0,43	0,63	2,39	3,59	3,43	5,15	6,38	9,51
40	0,46	0,69	2,49	3,74	3,56	5,36	6,84	10,20
45	0,48	0,74	2,60	3,90	3,70	5,57	7,24	10,79
50	0,52	0,77	2,70	4,05	3,84	5,78	7,66	11,43
55	0,54	0,81	2,80	4,21	3,98	5,99	8,08	12,05
60	0,57	0,86	2,91	4,36	4,12	6,20	8,49	12,67
65	0,59	0,89	3,01	4,51	4,26	6,41	8,87	13,22
70	0,61	0,92	3,11	4,67	4,40	6,62	9,23	13,77
75	0,64	0,96	3,19	4,78	4,54	6,83	9,57	14,28
80	0,66	1,00	3,32	4,97	4,68	7,04	9,99	14,82
85	0,69	1,03	3,42	5,13	4,82	7,25	10,27	15,32
90	0,71	1,06	3,53	5,29	4,94	7,42	10,61	15,82
95	0,73	1,09	3,63	5,46	5,1	7,67	10,87	16,25
100	0,75	1,13	3,75	5,61	5,25	7,89	11,21	16,7
105	0,77	1,15	3,85	5,77	5,38	8,09	11,53	17,19
110	0,79	1,18	3,94	5,91	5,53	8,31	11,8	17,62
115	0,81	1,21	4,07	6,08	5,67	8,52	12,11	18,07
120	0,83	1,24	4,15	6,22	5,79	8,71	12,41	18,51
125	0,84	1,26	4,24	6,35	5,94	8,92	12,67	18,90
130	0,86	1,29	4,32	6,47	6,06	9,11	12,97	19,35

Tabla 4.2 Pruebas de mediciones de parámetros de corriente del ADE7763 No 1
Fuente: Autora

El ADE7763 registra unidades de energía a medida que transcurre el tiempo, por lo que se realizó una comparación con los valores del equipo patrón para diferentes niveles de energía, para establecer una constante de calibración que permita realizar la conversión de las unidades de conteo del ADE7763, a valores reales de consumo de energía (Wh). La Tabla 4.3, muestra los datos obtenidos en varios instantes de tiempo del Fluke y del ADE al igual que la constante de calibración.

Cuando se emplean los módulos GEDE–CFA y GEDE-SCC, los datos obtenidos con el ADE7763 se deben dividir por la constante de calibración para mostrar la energía consumida en Wh. Esto se ajustó en el algoritmo del software.

ADE7763 No 1			ADE7763 No 2		
ADE (Unid)	FLUKE (Wh)	Cálculo Constante	ADE (Unid)	FLUKE (Wh)	Cálculo Constante
83920	51	19292,5490	696724	33	21112,8485
1055353	55	19188,2364	1424920	63	22617,7778
1144899	60	19081,6500	2002206	88	22752,3409
1300396	68	19123,4706	2490249	110	22638,6273
1356234	71	19101,8873	2924093	129	22667,3876
1407206	74	19016,2973	3313623	146	22696,0479
1458001	76	19184,2237	3692001	163	22650,3129
1532378	80	19154,7250	4221503	178	23716,3090
1638470	86	19099,5679	4269025	189	22587,4339
1718175	90	19093,3577	4532663	201	22550,5622
1797880	94	19087,7017	4861430	215	22611,3023
1877585	98	19082,5289	5109485	226	22608,3407
1957289	103	19077,7798	5279953	234	22563,9017
2036994	107	19073,4044	5444336	241	22590,6058
2116699	111	19069,3604	5599556	248	22578,8548
2196404	115	19065,6113	5718088	254	22512,1575
2276109	119	19062,1262	5863923	260	22553,5500
2355813	124	19058,8781	5976078	265	22551,2377
2435518	128	19055,8435	6062743	269	22538,0781
2515223	132	19053,0022	6699440	297	22557,0370
2594928	136	19050,3361	6977279	309	22580,1909
2674633	140	19047,8297	7403143	327	22639,5810
2754338	145	19045,4689	7607299	336	22640,7708
2834042	149	19043,2414	7737012	342	22622,8421
CONSTANTE CALIBRACION		19092,0449			22653,2717

Tabla 4.3 Cálculo de constate de energías de dos de los ADE7763
Fuente: Autora

Ecuación para calibración

Para obtener las ecuaciones de calibración basadas en una regresión lineal, se realizaron 11 pruebas en cada ADE7763, empleando un transformador de corriente desde 1 hasta 11 espiras para ver el comportamiento para los diferentes rangos de las señales.

La Tabla 4.4, muestra las ecuaciones obtenidas tanto para tensión como para corriente. Se tuvo en cuenta que los dispositivos de medida electrónicos tienen offset, es decir una salida diferente de cero para una entrada igual a cero, lo

anterior es debido a que los valores de tolerancia de las resistencias y condensadores introducen un error en las medidas.

	Ecuación de calibración tensión	Ecuación de calibración corriente
ADE No 1	y = 1,0032x + 0,2907	y = 1,4905x +0,0093
ADE No 2	y= 0,9890x + 0,9988	y= 0,8467x + 0,0085
ADE No 3	y=1,0135x -0,9383	y=1,0043x -0,0085
ADE No 4	y=1,1725x – 1,7651	y=0,8253x + 0,1314

Tabla 4.4 Ecuaciones de calibración de tensión y corriente de los ADE7763
Fuente: Autora

La Figura 4.19, muestra un ejemplo gráfico de la regresión lineal que se obtuvo del ADE7763 No 1, cuando se pasan 11 espiras por el transformador y la respectiva ecuación que se empleó para calibrar la corriente, de igual manera presenta un coeficiente de correlación igual a 1, lo cual indica que la ecuación es adecuada para describir la relación entre las variables.

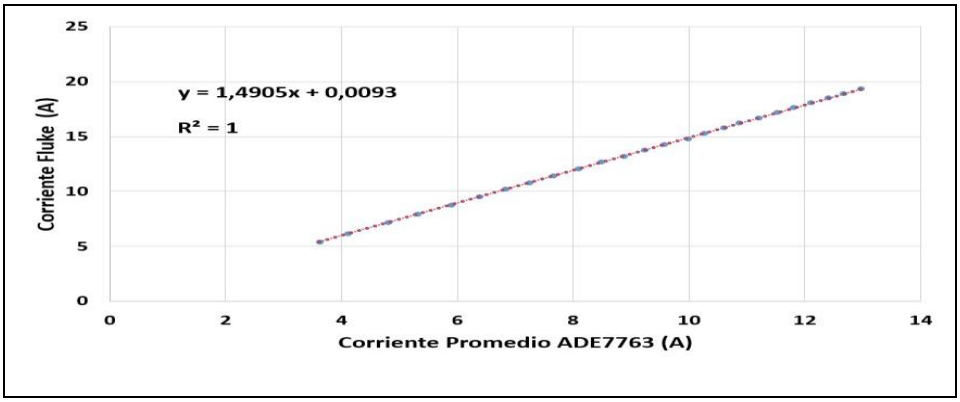


Figura 4.19 Regresión lineal y Ecuación para calibrar corriente del ADE 7763 No 1
Fuente: Autora

Para verificar el correcto comportamiento de las ecuaciones propuestas, fue necesario realizar nuevas pruebas con cada ADE7763 variando la cantidad de espiras entre 1 y 11. Se encontró que con 11 espiras el error máximo en tensión es de 0,94% y en corriente de 0,1%, mientras que con una espira los errores máximos fueron de 1,54% y 1,18% respectivamente. El promedio de error es más bajo cuando se ensaya con once espiras, dando valores favorables para las medidas de las señales de tensión y corriente de los módulos GEDE-CFA y GEDE SCC. Los demás resultados de las pruebas se observan en el Apéndice 12.

4.5.2 Comunicación para GEDE-CFA y GEDE SCC

Se establecieron dos pruebas para verificar el tiempo de respuesta de los prototipos, las cuales fueron: el tiempo de respuesta cuando se controlan, y el tiempo de respuesta para observar los datos en la aplicación Web. En la Figura 4.20, se muestra el protocolo que se efectuó para realizar las pruebas.

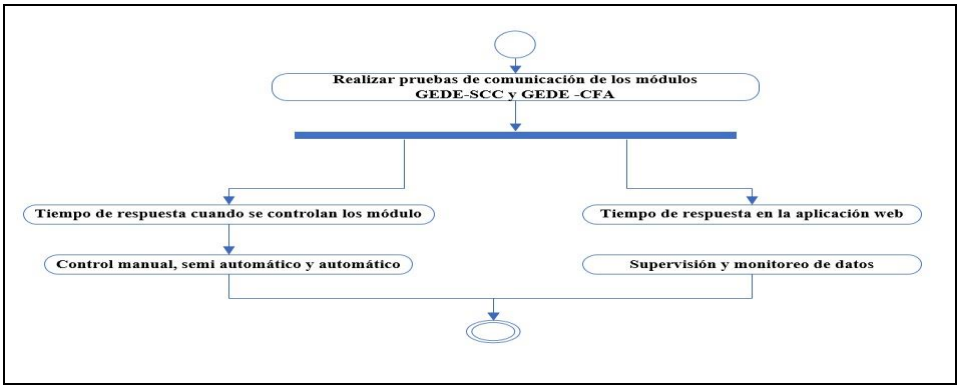


Figura 4.20 Diagrama protocolo pruebas comunicación GEDE-SCC y GEDE- CFA
Fuente: Autora

Tiempo de respuesta y control

En este apartado se explican las pruebas realizas de tiempo de respuesta bajo los tres modos de control de los prototipos del sistema como son: manual, semiautomático y automático.

Modo manual:
Para analizar el tiempo de respuesta cuando se ejecuta la acción de prender o apagar las cargas y/o conmutar las fuentes de alimentación, se realizaron 20 ensayos para cada GEDE-SCC y GEDE-CFA. Los tiempos de respuesta obtenidos para el encendido y apagado son inferiores a 1 s en todos los casos y se consideran adecuados, pues no afecta la comodidad del usuario. En cuanto a la conmutación de fuentes, ésta se realiza de manera instantánea pues no se observan destellos o interrupciones en el servicio.

Referente al tiempo de respuesta para observar los datos en la aplicación web, se contabilizó el tiempo desde que el usuario oprime el botón para controlar la carga (encendida o apagada) o el tipo de fuente de alimentación para usar, hasta el momento en que visualiza en la página que la acción fue cumplida. Se efectuaron ensayos desde diferentes puntos de Bogotá para verificar los tiempos de respuesta, dando en promedio 2,09 s para encender y/o apagar, y 1,32 s para la conmutación de la fuente.

Los resultados son debidos a que el sistema de comunicación PLC tiene una latencia relativamente grande en comparación con los sistemas cableados. Por otra parte, la demora se debe a que la aplicación Web necesita recargar la página después de la conmutación para actualizar los datos. Hay que tener en cuenta que cuando el sistema conmuta no hay lectura instantánea inicial o debe estar en cero.

Modo semiautomático:
En este caso se realizaron 10 pruebas, donde se le asignaron a cada uno de los módulos periodos específicos de operación desde la aplicación web, para ver su

tiempo de respuesta. La Tabla 4.5 muestra los tiempos de respuesta de la salida No 1 en cada periodo de tiempo.

	Tiempo GEDE-SCC (s) Salida 1		Tiempo GEDE-CFA (s)	
Periodos	Encender	Apagar	Encender	Apagar
6:00 – 6:15 am	0,40	0,10	<0,020	<0,010
6:30 – 6:45 am	2.00	0,20	<0,010	<0,015
7:00 – 7:15 am	0,20	0,20	<0,010	<0,010
7:30 – 7:45 am	0,10	0,10	<0,010	<0,010
8:00 – 8:15 am	0,20	1.00	<0,020	<0,015
8:30 – 8:45 am	0,20	0,10	<0,030	<0,011
9:00 – 9:15 am	0,20	0,20	<0,010	<0,009
9:30 – 9:45 am	0,10	1.00	<0,010	<0,007
10:00 – 10:30 am	0,20	0,10	<0,030	<0,009
10:30 – 10:45 am	0,20	0,30	<0,010	<0,008
Promedio	**0,38**	**0,33**	**<0,016**	**<0,007**

Tabla 4.5 Tiempo de respuesta control semiautomático
Fuente: Autora

Esta tal vez es una de las características más importantes del GEDE, pues permite implementar rutinas para efectuar programas de gestión activa de la demanda, al programar algunos dispositivos, con el fin de utilizar la energía en horas de la noche en vez de emplearla en horas pico, o realizar apagado de dispositivos que generalmente se tienen conectados.

Modo automático:
El modo de operación automático permite el aprovechamiento de la energía almacenada, hasta que las baterías alcancen un nivel de carga del 20% de su capacidad, momento en el cual se realiza la conmutación de fuente de alimentación. Se realizaron 20 pruebas con diferentes cargas, en ausencia de energía eléctrica del sistema distribuido. Como resultado, el tiempo de respuesta promedio fue de 16 ms, tiempo adecuado para que las cargas no sufran daño y conmuten sin que el usuario lo note.

Referente al GEDE-SCC, su modo automático se configuró de la siguiente manera: el usuario activo, asigna porcentajes de acuerdo con la prioridad que establezca para el uso de las cargas cuando el sistema opera con baterías. Por ejemplo, si se asigna 80% a determinada salida GEDE-SCC, ella se desconectará cuando la batería alcance ese porcentaje y seguirá con el sistema interconectado. La prueba se realizó asignado a cada una de las cuatro salidas los siguientes porcentajes: 20%, 40%, 60% y 80%. Se efectuaron 20 pruebas para desconectar las cargas de las baterías de acuerdo a su prioridad dando en promedio 2 s de tiempo de respuesta. Las demás pruebas de comunicación se observan en el Apéndice 13.

Supervisión y Monitoreo por medio de la aplicación Web

En este caso se realizó una prueba en BrowserShots (Browsershots, 2017), que es una página online para ver la compatibilidad de la aplicación en diferentes

exploradores. Como resultado se estableció que se puede tener acceso a la aplicación web con los navegadores más utilizados.

4.5.3 Pruebas de operación del sistema GEDE

La aplicación web muestra los datos sobre el estado de operación del sistema en tiempo real o los datos que se tienen almacenados en la base de datos según el usuario lo considere pertinente. El envío de datos desde los diferentes dispositivos se ha configurado de manera inicial para que se realicen cada 60 s, tiempo que se considera adecuado para no ralentizar el sistema. A continuación se muestran las pruebas de uso del sistema GEDE, para sus módulos CFA y SCC, tomando como base diferentes tipos de cargas y su comportamiento, soportado con la GEDE-UCP.

Pruebas de Operación de los módulos GEDE- SCC

Modo manual:
Para verificar la forma como operan los módulos GEDE- SCC con control manual, se realizaron 20 ensayos prendiendo y apagando, los dispositivos de cada salida, dando un tiempo de demora en promedio de 1 s.

Modo semiautomático:
Con el objeto de analizar el comportamiento de consumo de los dispositivos en horas valle, se realizó una prueba que consistió en colocar durante 1 día, cada módulo con diferentes cargas como: decodificador televisor 1, decodificador televisor 2, horno microondas y nevera, las anteriores cargas se seleccionaron ya que habitualmente permanecen conectadas, consumiendo energía. Con la aplicación web se seleccionó el periodo de tiempo para que se encendieran y/o apagaran. Previamente se midió el consumo de energía de las cargas durante el mismo periodo para realizar las respectivas comparaciones. La Tabla 4.6, muestra los resultados de la prueba, logrando ahorros aproximados de 240,12 kWh/año por usuario.

GEDE -SCC	Tipo Salida de carga	Periodo de tiempo Modo semiautomático		Ahorro con GEDE	
		Apagado	Encendido	kWh/día	kWh/mes
1	Decodificador televisor 1	23:00	5:00 horas	0,213	6,39
2	Decodificador televisor 2	23:00	5:00 horas	0,170	5,10
3	Horno microondas	22:00	6:00 horas	0,024	0,72
4	Nevera	2:00	5:00 horas	0,260	7,80
	TOTAL			**0,667**	**20,01**

Tabla 4.6 Prueba operación semiautomática de los módulos GEDE-SCC
Fuente: Autora

Pruebas de Operación del módulo GEDE- CFA

Las pruebas que se realizaron al módulo GEDE-CFA, consistieron en cambiar el tipo de carga dependiendo de los consumos de energía, verificando el comportamiento de las mismas cuando se realiza la conmutación de las fuentes de

alimentación en diferentes periodos de tiempo, se utilizó un inversor de onda pura para evitar armónicos, pues de lo contrario sería necesario utilizar factores de corrección. El protocolo de las pruebas se muestra en la Figura 4.21.

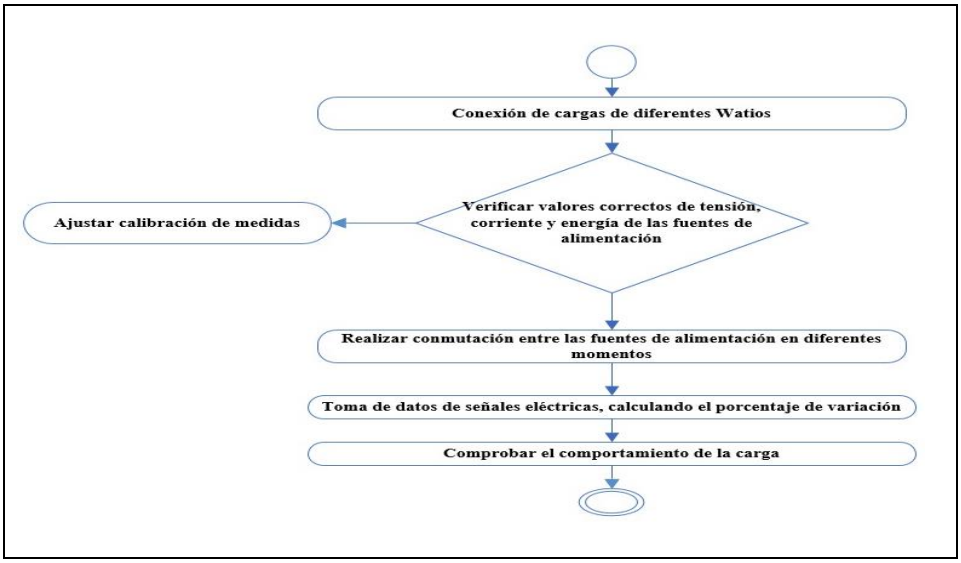


Figura 4.21 Protocolo pruebas de operación del módulo GEDE- CFA
Fuente: Autora

Prueba No 1: Uso de Cargas menores a 10 W

Las cargas seleccionadas fueron tres cargadores de celular de 5 W de diferentes marcas. Para la prueba se conectó primero un solo cargador de celular, luego dos y finalmente tres. Durante diferentes instantes de tiempo se realizaron conmutaciones entre las fuentes de alimentación: Sistema Interconectado (SI) a Generación Distribuida (GD) y viceversa, para verificar que el sistema fuera capaz de medir la corriente y la tensión de manera adecuada. Se observó que al realizar el cambio de fuente, la carga no presentara modificación alguna en su funcionamiento. Una vez finalizada la prueba y analizando los promedios de las medidas eléctricas, se observa lo siguiente:

- El sistema GEDE muestra una medida inicial de corriente igual a cero en la fuente destino cuando hace la transición, lo cual está acorde con la lógica del proceso pues inicialmente no se está consumiendo energía de esa fuente, es necesario esperar hasta la primera lectura para tomar el dato.
- En relación con los niveles de tensión, cuando se cambia al sistema GD, son más altos que los del SI para cargas bajas, pues estos no producen caídas de tensión en los bornes del inversor que está configurado para una tensión de salida en vacío de aproximadamente 123 V.
- En las pruebas se logra observar que los consumos de los cargadores de batería dependen del estado de carga inicial de las mismas y de la marca del celular, lográndose determinar que en promedio el consumo durante la carga del celular es aproximadamente de 6 W.

Prueba No 2: Uso de luminarias
La prueba se realizó con cargas más altas en iluminación, entre ellos: LED 4,7 W, LED 9,5 W, fluorescente compacta 26 W e incandescente de 60 W. Se efectuaron conmutaciones entre las fuentes: SI a GD y viceversa, en diferentes momentos, midiendo corriente y tensión, y observando el comportamiento de cada luminaria, incluido el posible destello que se presenta al realizar la operación. Después de realizar las pruebas, se observó lo siguiente:

- Para el caso de las luminarias LED y fluorescente compacta, el nivel de corriente es bajo en comparación con la luminaria incandescente probada.
- En relación con los niveles de tensión se observa en la experimentación que cuando las cargas son pequeñas el nivel de tensión y corriente de la carga de la GD es mayor que el del SI, y también se aprecia que cuando se conecta la luminaria incandescente, la tensión en las dos fuentes tiende a ser semejante, por efecto de la caída de tensión en la salida de inversor.
- En cuanto a los destellos, no se observaron en ninguno de los veintiocho (28) procesos de conmutación.

Prueba No 3: Uso de cargas sensibles a cambios de tensión
En esta prueba se utilizaron cargas sensibles a los cambios de tensión, específicamente un televisor LED de 32 pulgadas @ 120 W y un computador de escritorio 50 W, según las placas de los respectivos fabricantes. Se siguió el mismo protocolo de pruebas, pero teniendo especial atención en el comportamiento de las cargas, es decir, si los dispositivos presentaban algún tipo de destello o interrupción cuando se realizaban las conmutaciones entre las fuentes: SI a GD y viceversa, en diferentes momentos.

En este caso, aun cuando las cargas son sensibles a los cambios de tensión, no se observó ningún tipo de destello ni mal funcionamiento, especialmente en el computador que en ningún momento se reinició. En el caso del televisor, la placa del fabricante informa una potencia de 120 W; sin embargo, durante las pruebas la potencia promedio fue de tan solo 98 W. En el caso del computador aparece una situación diferente pues el fabricante menciona una potencia de 50 W y durante la prueba se observa una variación considerable pues varía en un rango de 46 W a 75 W, esto se puede atribuir a los diferentes procesos que el computador realiza. Los resultados de las pruebas realizadas se observan en el Apéndice 14.

Finalmente, se tenía previsto realizar pruebas de conmutación de fuentes con una carga de gran tamaño, como la plancha; sin embargo, la potencia de este dispositivo es de aproximadamente 1 kW, haciendo que conectarla al sistema de baterías pueda ponerlo en riesgo, por llevarlo al límite de su capacidad, ya que el inversor del prototipo que es de 1 kW en onda pura a 120 V. Otra consideración es que no sería recomendable realizar el consumo de la energía disponible en las baterías para utilizar este electrodoméstico pues consumiría en poco tiempo la energía almacenada. Esto no quiere decir que el sistema GEDE no se pueda emplear en cargas de potencia superior a 1 kW; sin embargo, el prototipo

desarrollado como caso de estudio en esta investigación presenta esa limitación y por lo tanto no se realizaron pruebas que pudieran afectar su integridad. La Tabla 4.7 presenta los principales resultados de las pruebas realizadas al módulo GEDE-CFA.

	Promedio diferencia cambio Tensión (V)	Nivel tensión estable	Promedio diferencia cambio Corriente (A)	Nivel corriente estable	Apagado cargas	Destellos cargas	Estabilidad módulo GEDE-CFA
Prueba 1	1.883	Si	0.09	Si	No	No	Si
Prueba 2	1.680	Si	0.009	Si	No	No	Si
Prueba 3	1.155	Si	0.035	Si	No	No	Si

Tabla 4.7 Resumen de resultados de las pruebas efectuadas al módulo GEDE-CFA
Fuente: Autora

4.5.4 Comparación de funcionamiento con algunos sistemas de gestión comerciales

Con el fin de establecer un referente internacional para el prototipo implementado, se realizó la comparación de funcionamiento con tres sistemas de gestión, estos fueron adquiridos para realizar la experimentación y evaluar sus características. Los sistemas adquiridos han sido probados por periodos aproximados a los ocho (8) meses con el fin de evaluar los aspectos relevantes.

La Tabla 4.8 muestra una comparación de tres de los sistemas como son: OZOM® (OZOM, 2017), Open energy Monitor® (Open Energy Monitor, 2017), Tibbo Aggregate® (Tibbo Systems, 2017), con el prototipo de sistema GEDE.

	SISTEMAS DE GESTION ENERGETICA COMPARADOS			
CARACTERISTICAS	OZOM ®	OpenEnergy Monitor®	Tibbo Aggregate ®	GEDE sobre Windows
Procedencia	California - EEUU	Inglaterra	Taiwan	Bogotá- Colombia
Año de inicio del proyecto	2012	Más de 10 años	2002	2016
Control de cargas	Si	No	No	Si
Monitoreo y supervisión de cargas individual	No	No	No	Si
Monitoreo y supervisión de cargas total	No	Si	Si	Si
Control de fuentes de alimentación	No	No	Si	Si
Monitoreo y supervisión de fuentes de alimentación	No	Si	Si	Si
Protocolos sistemas de comunicaciones	Wi-Fi	Wi-Fi Red Ethernet - cable UTP	Wi-Fi Red Ethernet - cable UTP	PLC Comunicación línea potencia
Sistema operativo	Sistema propietario OZOM® Código cerrado	Linux Código abierto	Sistema SCADA AGREGATTE Código Cerrado	Windows 8 y 10 Por establecer el acceso al código

Bases de datos	No se tiene acceso a base de datos	Base de datos MySQL	Base datos propietaria, posibilidades de ODBC	SQL server
Lenguaje de Programación	Código cerrado	PHP	Código cerrado	HTML, javascript, C#, SQL
Interfaz Gráfica	Disponible para dispositivos móviles	Disponible para dispositivos móviles y PC	Disponible para dispositivos móviles y PC	Disponible para dispositivos móviles y PC
Portabilidad (tamaño)	Mismo tamaño que un bombillo y un tomacorriente tradicional	10cmx8cmx7cm	Tarjetas independientes para monitoreo de 2cm*2cm*3cm y tarjeta maestra de 10cm*7cm*2cm	Cada GEDE –SCC: 10x10 cms GEDE-CFA: 10x15 cms GEDE –UCP desde un PC
Quien lo instala y realiza el mantenimiento	Usuario	Técnico/ profesional	Técnico/profesional	Técnico/profesional
Lugar de Instalación	En cada toma corriente y socket de bombillos	Al lado del tablero de circuitos	Al lado del tablero de circuitos	Al lado del tablero de circuitos y en cada toma corriente
Características	4 bombillos smart, 1 tomacorriente y 1 router	2 entradas de fuentes de alimentación y 5 salidas de cargas	1 entrada de fuente de alimentación y dos salidas de cargas	1 Modulo GEDE-UCP, 1 módulo GEDE-CFA, 1 módulo SMB, 4 módulos GEDE –SCC
Precio (pesos colombianos)	$800.000	$2.700.000, incluida la importación	$ 1.400.000, incluida la importación	$1.200.000
Disponible en Colombia	Si	No	No	Si

Tabla 4.8 Resumen características algunos sistemas de gestión similares al GEDE
Fuente: Autora

De acuerdo a lo anterior y evaluando cada una de sus características se identificaron los siguientes aspectos relevantes en la comparación:

- Con relación a los costos y pese a que la totalidad de los sistemas analizados se adquieren por un alto valor, solo uno se encuentra disponible en Colombia en un almacén de cadena (Ozom ®), y dos de ellos: Open Energy Monitor ® y Tibbo Aggregate ®, debieron ser importados. El costo del GEDE resulta ser más económico ya que está proyectado no solo con el control de fuentes de alimentación sino también con cuatro salidas de carga y el monitoreo de baterías.
- Los sistemas analizados han estado en el mercado por tiempo prolongado comparado con el GEDE, que lleva solo 2 años de experimentación.
- Solo uno de los sistemas cuenta con control de cargas de manera individual (Ozom ®), además de no monitorear y supervisar los consumos; los otros dos sistemas realizan este proceso de manera general. GEDE por el contrario tiene control de cargas de manera individual y además realiza el monitoreo y supervisión en tiempo real.
- La instalación y el mantenimiento de los sistemas de gestión debe ser realizada por un técnico/profesional, solo el Ozom® puede ser instalado por el usuario.

- Por ser la primera versión, los módulos de GEDE son de mayor tamaño; sin embargo, en próximas versiones se espera contar con dispositivos más portables y fáciles de ubicar en cualquier sitio de la residencia.
- Solo el sistema GEDE ofrece monitoreo de las baterías, lo cual es un valor agregado con respecto a los otros pues con esto realmente se puede determinar si existe excedente de energía de la GD.

4.6 Discusión del capítulo

El sistema GEDE, realiza un proceso de apropiación tecnológica utilizando elementos de bajo costo para implementar sistemas de control en el contexto de Internet de la Cosas (Zhang, Yang, Chen, & Li, 2018), este es un paso muy importante para incorporar tecnologías en el hogar que permita hacer un mejor uso de los recursos energéticos. Lo importante del sistema es que cada uno de los elementos que se gestionan en la instalación eléctrica tendrá una dirección IP asignada.

Las comunicaciones entre los diferentes dispositivos se realizan utilizando el protocolo PLC, que es novedoso para el uso domiciliario en este tipo de aplicaciones, pues normalmente se utiliza protocolo Wi-Fi, sobre el cual también es factible que opere el sistema GEDE, pues utiliza protocolos estándar de comunicaciones ajustados al modelo OSI – TCP/IP. La ventaja más importante de la línea de potencia es que no necesita cableados adicionales, pues utiliza los mismos de la instalación eléctrica, de igual manera no está sujeta a las dificultades que plantean las comunicaciones inalámbricas para ciertos sitios de las viviendas. El sistema en su conjunto es un aporte que se hace a la comunidad científica en lo que tiene que ver con la gestión activa de la demanda, cambio climático y especialmente con los sistemas conocidos como HEMS. Además, el sistema se proyecta hacia la implementación masiva en estrato 4 y superiores, considerando que cada uno de los usuarios que participen en programas GAD, suministren la información de posibles excedentes al agregador para que éste la consolide y oferte en bloque.

Uno de los aportes más importantes del GEDE, es que tiene rutinas para implementar programas GAD, al programar algunos dispositivos, con el fin de utilizar la energía en horas de la noche para no emplearla en horas pico, o realizar apagado de dispositivos que generalmente se tienen conectados, así mismo el monitoreo de las baterías permite conocer de manera continua el nivel de energía disponible ya sea para el consumo o para ser ofertada al agregador, involucrando aspectos internos como la infraestructura física de dispositivos que lo componen, protocolos de comunicación, y demás elementos utilizados en las instalaciones eléctricas domiciliarias. De igual manera, se diseñó y desarrolló un prototipo de software con lenguajes de última generación, para gestionar el hardware del GEDE con relación a captura de parámetros básicos de medidas eléctricas (tensión, corriente y energía), y otro software para el monitoreo, supervisión y

control por medio de una aplicación web que implementa el acceso con seguridad y para operar en tres modos: manual, semiautomático y automático.

5. ESTRATEGIAS DE GESTIÓN ACTIVA DE LA DEMANDA

El sistema de gestión de energía eléctrica domiciliaria GEDE tiene como objetivo la gestión activa de la demanda, por tal razón se plantean escenarios relacionados con la cantidad de energía despachada al sistema eléctrico proveniente de los usuarios activos, que poseen generación propia de energía o de los beneficios que pueden obtener de acuerdo a los cambios en sus hábitos de consumo y al uso del sistema GEDE. Estos escenarios permiten percibir la interacción entre el agregador y el usuario activo, al inyectar a la red los excedentes de energía, prevenientes de la generación distribuida que para estas estrategias corresponden a sistemas fotovoltaicos. El agregador tendrá actividades relacionadas con el proceso de comercialización de energía, será el encargado de representar a los usuarios activos en los mercados eléctricos mayoristas (MEM) según lo establezcan los marcos regulatorios, con el fin de ofertar la energía de acuerdo a la consolidación de la oferta y a las estrategias de gestión que se empleen, las cuales parten del supuesto de que se cuenta con un MEM, el cual no hace parte de este proyecto de investigación.

Las estrategias GAD se proyectan teniendo en cuenta el tipo de control, señal e incentivo, como se presenta en la Figura 5.1.

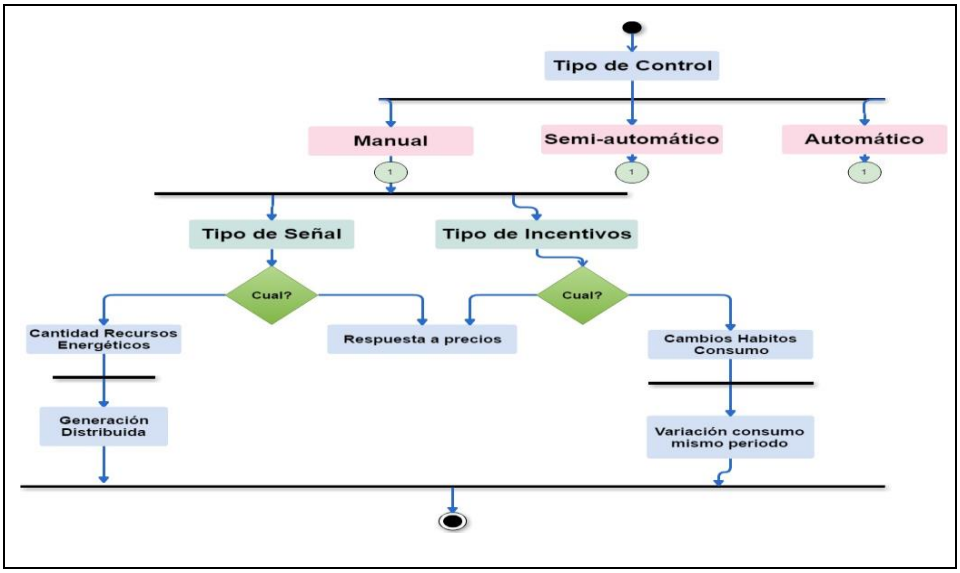


Figura 5.1 Elementos para la proyección de los escenarios de gestión
Fuente: Autora

El tipo de señal presenta dos elementos, el primero es la cantidad de recursos energéticos proveniente de la GD, y el segundo es la respuesta a precios por medio de la elasticidad precio de la demanda, que es una medida para mostrar el grado de respuesta por la cantidad demandada de energía eléctrica (Chaudhari & Ukil, 2016). Finalmente, el tipo de incentivos es representado por las variaciones de la curva de la demanda cambiando los hábitos de consumo de los usuarios activos.

5.1 Requerimientos de los escenarios de implementación GAD

En este apartado se especifican los requerimientos o condiciones iniciales para desarrollar los escenarios enfocados a la GAD, y son proyecciones de la interacción que puede darse entre los cambios en los hábitos de consumo, la generación distribuida que para este caso fueron los sistemas fotovoltaicos, el sistema GEDE y el agregador.

Consumo promedio del estrato 4 de Bogotá

En la proyección de los escenarios se trabaja con diferentes dispositivos, por esta razón es importante conocer el consumo de energía promedio diaria de cada grupo. La Tabla 5.1, muestra una proyección promedio del uso de los electrodomésticos de acuerdo a los grupos de dispositivos planteados en el modelo estocástico del Capítulo 3, de igual manera se verificó que los porcentajes de uso proporcionados por la simulación se aproximaran a los consumos establecidos a nivel residencial de acuerdo a lo propuesto en (UPME, 2016), (Departamento de Planificación y Estudios, 2011) y (Fedesarrollo, 2013).

GRUPOS	Energía (kWh)	% uso
Grupo Iluminación	0,959	16,83
Grupo Nevera	0,965	16,93
Grupo Electrodomésticos entretenimiento	0,794	13,93
Grupo Electrodomésticos Cocina	0,788	13,82
Grupo Electrodomésticos Calor	1,300	22,81
Grupo Electrodomésticos Ropa	0,421	7,38
Grupo Electrodomésticos Ducha	0,031	0,54
Grupo Electrodomésticos Varios	0,442	7,76
TOTAL	**5,700**	**100**

Tabla 5.1 Proyección consumo de energía diario estrato 4 de Bogotá
Fuente: Autora

Proyección diseños de generación distribuida – sistema fotovoltaico

No es objetivo de la investigación diseñar ningún tipo de sistema de GD, pero se tendrá en cuenta para la proyección de los escenarios la energía proveniente de sistemas fotovoltaicos. De acuerdo a esto, se proyectan tres sistemas con diferentes capacidades y costos, establecidos teniendo en cuenta las siguientes consideraciones: un diseño económico, ya que según la encuesta el 54,55% de los usuarios estrato 4 solo estarían dispuestos a pagar aproximadamente $1.000.000, y otros dos diseños con costos más elevados pero mayores capacidades de

almacenamiento. La Tabla 5.2, muestra las especificaciones técnicas de cada uno y el precio final de compra incluyendo los impuestos, teniendo en cuenta un 7% adicional para la estructura y montaje de los mismos (Escobar D. , 2013).

	Diseño 1		**Diseño 2**		**Diseño 3**	
	Características	**Cant**	**Características**	**Cant**	**Características**	**Cant**
Panel	Potencia de 80 W (63x82cms), eficiencia 13,64%,	1	CS6X-320P. Potencia Nom 320 W	2	CS6X-320P. Potencia Nom 320 W	3
Inversor	Tensión Entrada: 12 VDC, Potencia de Salida: 1000 W Frecuencia: 60 Hz, Eficiencia: 88%.	1	Tensión Entrada: 24 VDC, Potencia de Salida: 2000 W, Frecuencia: 60 Hz, Eficiencia: 88%.	1	Tensión Entrada: 24 VDC, Tensión Salida: 110 VAC Potencia de Salida: 2000 W, Frecuen.: 60 Hz, Eficiencia: 90%.	1
Regulador	INTI IC-2024. Máxima Tensión Entrada 12 -24 VDC, Tensión Nominal Carga Baterías: 13,7 VDC, Corriente Salida: 20 A	1	INTI 4024 - 40 A Máxima Tensión Entrada: 45,3 VDC, Tensión Nominal Carga Baterías: 27,4 VDC, Corriente Salida: 40 A	1	INTI 4024 - 40 A MPPT, Máxima Tensión Entrada: 12/24 VDC, Tensión Nominal Carga Baterías: 27,4 VDC, Corriente. Salida: 40 A	1
Baterías	12 V. 35 Ah. Capacidad Almacenamiento 840 Wh por día.	2	12 V. 50 Ah. Capacidad Almacenamiento 3600 Wh por día.	6	12 V. 200 Ah. Capacidad Almacenamiento 4800 Wh por día.	2
TOTAL	**$1.154.530**		**$4.080.980**		**$6.654.544**	

Tabla 5.2 Proyección costos generación distribuida fotovoltaica
Fuente: Autora

Se tenía previsto realizar pruebas de inyección con un micro inversor a red, con las siguientes especificaciones: Rango de operación 17 a 50 VDC, Rango corriente operación: 0 – 15 A, Máxima potencia de salida: 260 W, Rango tensión de salida: 80-120 VAC, frecuencia: 55-64 Hz, factor de potencia: > 0,95. Sin embargo, al implementarlas la cantidad de energía que se inyectaba a la red era mínima debido a la baja potencia del panel empleado en el prototipo y a la poca radiación.

Proyección de generación distribuida

La alimentación de los tres diseños fotovoltaicos propuestos se proyecta con los datos de radiación de la ciudad de Bogotá (IDEAM, 2016), que es de 3976,39 Wh/m^2 al día. Se realizó el cálculo de la energía generada en cada diseño de acuerdo a la radiación utilizando la ecuación (Escobar D. , 2013):

$$E = GR_Z * PA * \eta \qquad (5.1)$$

Donde:
GR_Z : Radiación global (Wh/m^2)
PA : Área de instalación del panel
η: Eficiencia del panel

Dando como resultados los valores presentados en la Tabla 5.3:

Energía	Promedio Bogotá	Proyección Diseño 1	Proyección Diseño 2	Proyección Diseño 3
kWh/día	3,97	0,28	2,55	3,82
kWh/Mes	119,29	8,41	76,36	114,54

Tabla 5.3 Proyección energía generación distribuida fotovoltaica
Fuente: Autora

Tipo de control de operación del sistema GEDE

Con relación a los tipos de control semiautomático y manual, en la sección 2.2.4 se estableció que ofrecen ahorros entre promedio del 3% al 5%. Referente al control de operación automático, es el que más ahorro de energía presenta. De igual manera dentro de este proyecto se ha trabajado con estudiantes de pregrado (Clavijo & Herrera, 2016), (Acosta & Gregory, 2015) donde los resultados de ahorro para salidas de alumbrado y tomas inteligentes con sistemas de gestión en modo automático presentan reducciones promedio del 10% en el consumo mensual. Puesto que el tipo de control automático es el que más reducciones de consumo aporta a la curva de demanda, de acuerdo a los autores estudiados, se tendrá en cuenta para las proyecciones una reducción del 10% en los escenarios analizados, tomando como base una aproximación del promedio de ahorro de la literatura y los resultados efectuados en investigaciones propias.

Incentivos por inyectar energía a la red

La literatura propone diferentes técnicas para pagar la energía inyectada a la red por los usuarios, como el Net metering que permite vender a la red eléctrica los excedentes de energía para emplearlos en otro momento, el Net billing donde se venden los excedentes pero incluye el pago de la infraestructura de distribución (Watts, Valdés, Jara, & Watson, 2015) y el Feed-in tariff, donde las empresas distribuidoras pagan aproximadamente 1,3 veces el precio de venta hacia los usuarios y el precio es garantizado por largos periodos para fomentar la inversión en fuentes de energía renovable (Poullikkas, 2013).

Se verificaron experiencias como la Chilena, en donde el pago de tarifas a las generadoras residenciales con capacidad de hasta 100 kW, por los excedentes tienen un valor cercano al 40% del valor al cual se compra la electricidad (Asociación Chilena de Energía Solar , 2016). Uruguay mediante el Decreto 173/010 reglamentó la distribución de energía entregada a la red por el microgenerador, que se remunera al mismo precio del cargo por energía vigente en el pliego tarifario (Usinas y Trasmisiones Eléctricas, 2017). En España, el

gobierno planteó pagar el kWh a 5,75 veces el costo de compra base de acuerdo al Real Decreto 436/2004 de 12 de marzo (Energy Spain, 2016), sin embargo y de acuerdo a la experiencia, han propuesto más reglamentaciones que no son tan generosas con el precio ofrecido. Países como el Reino Unido y Dinamarca constituyeron políticas en las cuales se paga el 50% sobre el precio comercial por excedentes de energía (Arribas González, 2012).

De acuerdo a lo anterior, donde se muestran diferentes alternativas de precios para inyectar energía a la red, se proyecta para los escenarios de gestión que el pago será del 40% del precio base por los excedentes que se inyecten tomando como base el caso de Chile dado que es el más cercano a las condiciones de Colombia, donde la reglamentación comenzó con el Decreto 1073 de 2015 (Ministerio de minas y energia, 2015), en el Capítulo 2 denominado "Actividades principales y complementarias del sector eléctrico", dando los lineamientos de los autogeneradores a gran escala, luego con el Decreto 0348 del 2017 (Ministerio de Minas y energía, 2017), mediante el cual se adiciona la sección 4A referente a la entrega de excedentes de autogeneración a pequeña escala, estableciendo que los excedentes se reconocerán como créditos de energía, pero esto aún no ha sido regulado. Para los cálculos se tomó el precio base por kWh en $438,96 fijado en el mes de agosto del 2016 (Codensa, 2016).

5.2 Proyección Escenarios de Gestión

En este apartado se plantean los escenarios de gestión, teniendo en cuenta la interacción de aspectos como, los hábitos de consumo, diseños fotovoltaicos, el prototipo de sistema GEDE, el agregador y los precios del mercado. Lo anterior con el fin de evaluar los efectos de la GAD en la curva de demanda.

Se proyectaron cuatro escenarios, los dos primeros relacionados con el circuito de iluminación, puesto que según la encuesta, es empleado durante todo el día, teniendo su mayor consumo en el periodo de la noche como se observa en la Figura 5.2. Además, según el 50% de los encuestados, los dispositivos de iluminación tienen un porcentaje de uso del 20%, mientras que el 21% los usan más del 51% a diferentes horas del día. Los otros dos escenarios se seleccionaron de acuerdo a los mayores resultados de ahorro obtenidos en el Capítulo 2.

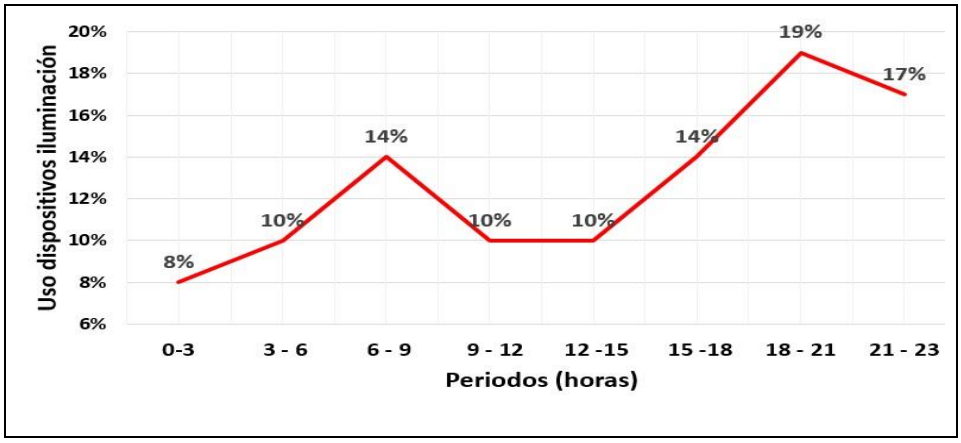


Figura 5.2 Periodo uso dispositivos de iluminación
Fuente: Autora

Los siguientes son los escenarios establecidos para analizar las estrategias de GAD, para lo cual se tuvo en cuenta los picos que presenta la curva de demanda del estrato 4 (6–9 y 18–21 horas) y para inyectar a la red se proyecta dejar almacenada un 20% de energía de reserva en las baterías. Además, se considera cuando el usuario realiza o no cambios en los hábitos de consumo:

- Escenario 1: Con control de operación automática en el circuito de iluminación, con generación distribuida fotovoltaica en los periodos de tiempo 6–9 y 18-21 horas. Para la primera estrategia sin cambios en los hábitos de consumo, y en la segunda estrategia considerando un cambio del 20% menos en los hábitos de consumo todo el día en el circuito analizado.

- Escenario 2: Con control de operación automática en el circuito de iluminación, con generación distribuida fotovoltaica, en el periodo de tiempo de 18-21 horas. Para la primera estrategia sin cambios en los hábitos de consumo, y en la segunda estrategia considerando un cambio del 10% menos en los hábitos de consumo durante el periodo de tiempo 18–21 horas en el circuito analizado.

- Escenario 3: Con control de operación automática, generación distribuida fotovoltaica durante los periodos de tiempo 6–9 y 18–21 horas. Para la primera estrategia sin cambios en los hábitos de consumo, y en la segunda estrategia considerando un cambio del 30% menos en los hábitos de consumo en toda la carga durante todo el día.

- Escenario 4: Con control de operación automática, generación distribuida fotovoltaica en los periodos de tiempo 6–9 y 18– 21 horas. Para la primera estrategia sin cambios en la tecnología de algunos dispositivos, y en la segunda estrategia considerando cambios en la tecnología de algunos dispositivos.

En la Tabla 5.4, se muestra el análisis de requerimientos del Escenario 1, en ella se presenta el nombre del requerimiento, los usuarios y/o elementos, las condiciones de entrada y salida, y las actividades a desarrollar.

<table>
<tr><td>Escenario 1.</td><td></td></tr>
<tr><td>Nombre: Con control de operación automática en el circuito de iluminación con generación distribuida fotovoltaica en los periodos de tiempo 6–9 y 18-21 horas y, para la primera estrategia sin cambios en los hábitos de consumo, y en la segunda estrategia considerando un cambio del 20% menos en los hábitos de consumo todo el día en el circuito analizado</td><td rowspan="2">Escena 1:
El UA programa el sistema GEDE con operación de control automático de conmutación en el circuito de iluminación a SPV durante los periodos analizados</td></tr>
<tr><td>Usuarios y/o elementos:
- Usuario Activo (UA)
- Agregador (AG)
- Sistema de Gestión Eléctrica (GEDE)
- Sistema Fotovoltaico (SPV)</td></tr>
<tr><td rowspan="2">Condiciones de Entrada:
• Diseño 1 SPV: Capacidad instalada (Panel 80 W, y almacenamiento aprox 840 Wh por día)
• Diseño 2 SPV: Capacidad instalada (Paneles 320 W, y almacenamiento aprox 3600 Wh por día)
• Datos de radiación típica en la ciudad de Bogotá
• Energía por atender circuito iluminación: 959,2 Wh/día
• Circuito de iluminación: 15 luminarias (uso aleatorio)
• Porcentaje utilización promedio diario luminarias
• Consumo promedio de la vivienda: 171,01 kWh/mes
• Tarifa Básica promedio kWh=$438,96
• Estrategia 1: Sin cambios en los hábitos de consumo
• Estrategia 2: Cambio del 20% menos en los hábitos de consumo todo el día en el circuito analizado</td><td>Escena 2:
Por contrato suscrito con el AG, si hay excedentes de sistema fotovoltaico se inyectan a la red, pagando como incentivo un 40% del precio de la red</td></tr>
<tr><td>Escena 3:
Se considerará la proyección de los niveles de radiación de Bogotá para el SPV</td></tr>
<tr><td>Condiciones de Salida en el contexto de la GAD:
• Valor de la energía generada por el SPV
• Porcentaje de ahorro por consumir con energía renovable
• Tiempo para recuperar la inversión
• Tasa interna de retorno
• Cantidad de recursos energéticos que el UA, puede reservar del SPV
• Dinero y porcentaje de incentivos recibidos</td><td>Escena 4:
De acuerdo a la estrategia analizada, a la capacidad instalada y a su consumo diario el UA, hará o no, un cambio en los hábitos de consumo en un 20% del total de iluminación todo el día</td></tr>
</table>

Tabla 5.4 Análisis de requerimientos para la proyección del Escenario 1
Fuente: Autora

Los requerimientos de los otros tres escenarios se desarrollaron de manera similar de acuerdo a las características propias de cada uno, y se encuentran en el Apéndice 15, a manera de resumen la Tabla 5.5, muestra los principales aspectos de ellos.

	Escenario 1	Escenario 2	Escenario 3	Escenario 4
Descripción	Control de operación automática en el circuito de iluminación con generación distribuida fotovoltaica en los periodos de tiempo 6–9 y 18-21 horas y, para la primera estrategia sin cambios en los hábitos de consumo, y en la segunda estrategia considerando un cambio del 20% menos en los hábitos de consumo todo el día en el circuito analizado	Control de operación automática en el circuito de iluminación con generación distribuida fotovoltaica en el periodo de tiempo de 18-21 horas y, para la primera estrategia sin cambios en los hábitos de consumo, y en la segunda estrategia considerando un cambio del 10% menos en los hábitos de consumo durante el periodo de tiempo 18–21 horas en el circuito analizado	Control de operación automática, generación distribuida fotovoltaica durante los periodos de tiempo 6–9 y 18–21 horas y, para la primera estrategia sin cambios en los hábitos de consumo, y en la segunda estrategia considerando un cambio del 30% menos en los hábitos de consumo en toda la carga durante todo el día	Control de operación automática, generación distribuida fotovoltaica en los periodos de tiempo 6–9 y 18– 21 horas y, para la primera estrategia sin cambios en la tecnología de algunos dispositivos, y en la segunda estrategia considerando cambios en la tecnología de algunos dispositivos
Control Operación	Automático	Automático	Automático	Automático
Periodo	6 – 9 y 18 -21 horas	18 -21 horas	6 – 9 y 18 -21 horas	6 – 9 y 18 -21 horas
Circuito	Iluminación – 15 luminarias usados aleatoriamente	Iluminación – 15 luminarias usados aleatoriamente	Todos los circuitos	Todos los circuitos
Capacidad instalada SPV	Diseño 1: Panel 80 W, y almacenamiento aprox 840 Wh/día. Diseño 2: Paneles 320 W, y almacenamiento aprox 3600 Wh/día	Diseño 1: Panel 80 W, y almacenamiento aprox 840 Wh/día. Diseño 2: Paneles 320 W, y almacenamiento aprox 3600 Wh/día.	Diseño 3: Paneles 320 W, y almacenamiento aprox 4800 Wh/día.	Diseño 3: Paneles 320 W, y almacenamiento aprox 4800 Wh/día.
Radiación:	Datos de niveles de radiación típica en la ciudad de Bogotá.	Datos de niveles de radiación típica en la ciudad de Bogotá.	Datos de niveles de radiación típica en la ciudad de Bogotá.	Datos de niveles de radiación típica en la ciudad de Bogotá.
Potencia diaria	959,2 W	491,59 W	2671,83 W	2671,82W
Estrategia 1	Sin cambio en hábitos consumo	Sin cambio en hábitos consumo	Sin cambio en hábitos consumo	Sin cambio en tecnología
Estrategia 2	Cambio del 20% menos en los hábitos de consumo todo el día en el circuito analizado	Cambio del 10% menos en los hábitos de consumo durante el periodo de tiempo 18–21 horas en el circuito analizado	Cambio del 30% menos en los hábitos de consumo en toda la carga durante todo el día	Cambio de tecnología en algunos dispositivos.

Tabla 5.5 Resumen proyección de escenarios
Fuente: Autora

5.3 Indicadores para el análisis

Para realizar los análisis que involucran la gestión activa de la demanda es necesario establecer indicadores orientados en aspectos técnicos, económicos, sociales y ambientales, ya que estos aspectos están directamente involucrados con los objetivos de la presente investigación. Algunos de los indicadores se encuentran como opción en la aplicación Web desarrollada, de tal manera que el usuario activo puede observar su comportamiento en tiempo real. Esto depende en gran medida del tipo de diseño de GD que se seleccione para conectar a la instalación. En la Figura 5.3 se muestran los indicadores utilizados para el análisis.

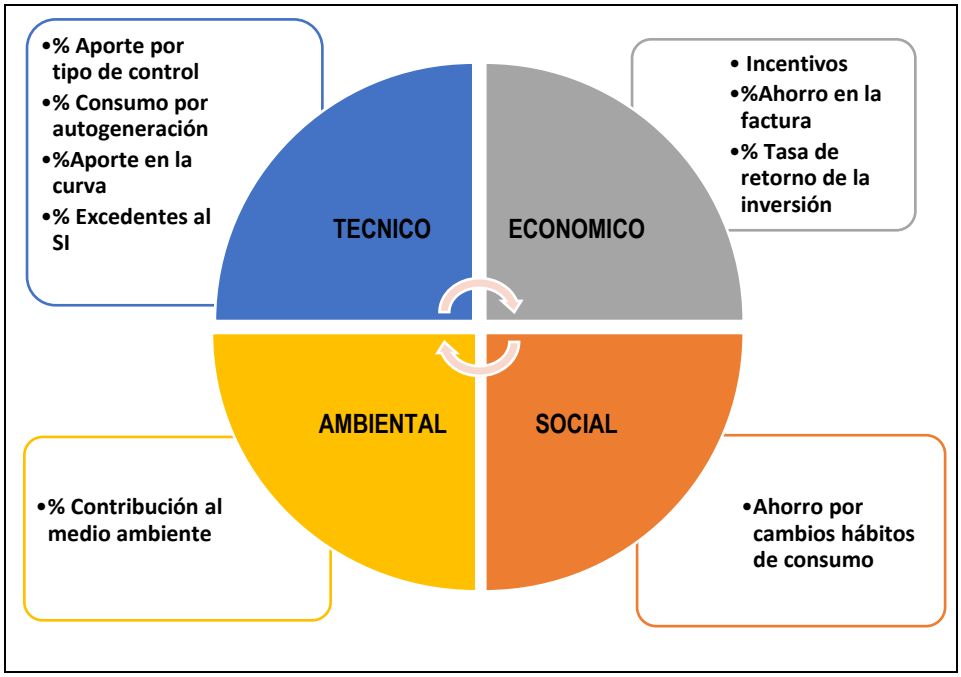


Figura 5.3 Indicadores de gestión utilizados
Fuente: Autora

Indicadores técnicos:

La implementación de estrategias GAD, trae una serie de alternativas de indicadores de tipo técnico, para los análisis se proponen los siguientes:

Porcentaje aporte de energía renovable con tipo de control-automático: En este indicador se tiene en cuenta la prioridad que establezca el usuario para el uso de las cargas cuando el sistema está con generación distribuida (Baterías), pero se deja siempre de reserva el 20% de almacenamiento de energía en las baterías.

$$AER_{CA} = ((EB * 0{,}8)/\sum CP_{CC}) * 100 \qquad (5.2)$$

Donde:
Energía Baterías: EB
Consumo promedio energía cargas controladas: CPE_{CC}

Porcentaje consumo energía por autogeneración: Este indicador muestra la relación entre la energía generada y el consumo promedio de energía de las cargas controladas, con el fin de mostrar el porcentaje de la energía generada que está alimentado las cargas controladas, a diferencia del anterior no tiene en cuenta la prioridad de las cargas para su desconexión automática, la batería puede tener un porcentaje mayor de reserva que el 20%.

$$CEA = \left({\sum Eg}/{\sum CPE_{CC}} \right) * 100 \qquad (5.3)$$

Donde:
Energía generada: Eg

Porcentaje aporte a la curva por emplear la tecnología del GEDE: Para este indicador se tuvo en cuenta los datos de las mediciones reales obtenidas de cada módulo de carga controlada, sin ningún tipo de variación para tener el consumo real. Muestra la relación entre el consumo promedio de energía de las cargas controladas y el consumo real, con el fin de determinar la magnitud del aporte de energía que implica una disminución en el consumo de energía del SI.

$$AC_{TE} = \left(1 - \left({\sum CPE_{CC}}/{\sum CRE_{CC}} \right)\right) * 100 \quad (5.4)$$

Donde:
Consumo real energía cargas controladas: CR_{CC}

Porcentaje excedentes energía al SI: Se muestra el porcentaje de energía generada disponible como excedente para suministrar al SI.

$$PEX_{SI} = (1 - \ (\sum EC_{GD} \ / \ \sum Eg) \ ) * 100 \quad (5.5)$$

Donde:
Energía consumida de GD: EC_{GD}

Indicadores económicos:

Los indicadores económicos propuestos se clasifican en dos, los primeros están relacionados con las compensaciones que podría recibir el usuario activo, basadas en los incentivos en dinero y el ahorro en la factura, y, los segundos indicadores se relacionan con la tasa interna de retorno por la inversión en tecnología que debe realizar (GEDE y GD) al acogerse a las estrategias GAD.

Incentivos: Muestra la remuneración económica que el SI reconocería al usuario activo por concepto de la venta de los excedentes de energía. El factor 0,4 corresponde al análisis mencionado en el apartado 5.1.

$$INC = EX_{SI} * (P * 0.40) \quad (5.6)$$

Donde:
Excedentes al SI (kWh): EX_{SI}
Precio (kWh): P

Porcentaje ahorro en la factura: Muestra el porcentaje del valor que se ahorra el usuario activo por implementar estrategias GAD, de acuerdo al valor real de referencia.

$$AF = (\sum VES_{GAD} / \sum VR_F) * 100 \quad (5.7)$$

Donde:
Valor real factura: VR_F
Valor estrategia GAD: ES_{GAD}

Indicadores ambientales:

Estos indicadores representan el impacto en el medio ambiente por emplear sistemas de gestión energética como el GEDE que involucre la utilización de GD:

Porcentaje contribución al medio ambiente:

$$CMA = (FE/CK) * 100 \quad (5.8)$$

Donde:
FE: Factor de emisión SI
CK: Cantidad kWh/día que se dejaron de consumir por ahorro con la aplicación de estrategias GAD.

Indicadores sociales:

Los hábitos de consumo como parte fundamental de esta investigación y relacionada con los indicadores sociales, involucran análisis referentes a la variación en el consumo de energía eléctrica cuando el usuario activo realiza algún cambio en sus hábitos de consumo y su relación directa con la variación en la curva de demanda.

Porcentaje ahorro por cambio en hábitos de consumo:

$$C_{HC} = \sum CC_{HC} / CR \quad (5.9)$$

Donde:
Consumo real residencial al mes: CR
Consumo cambiando hábitos de consumo al mes: CC_{HC}

Como se mencionó anteriormente, algunos de los indicadores propuestos se configuraron directamente en la aplicación Web que se desarrolló y se pueden consultar por periodo de tiempo. La Figura 5.4 muestra la pantalla de cómo son mostrados al usuario activo.

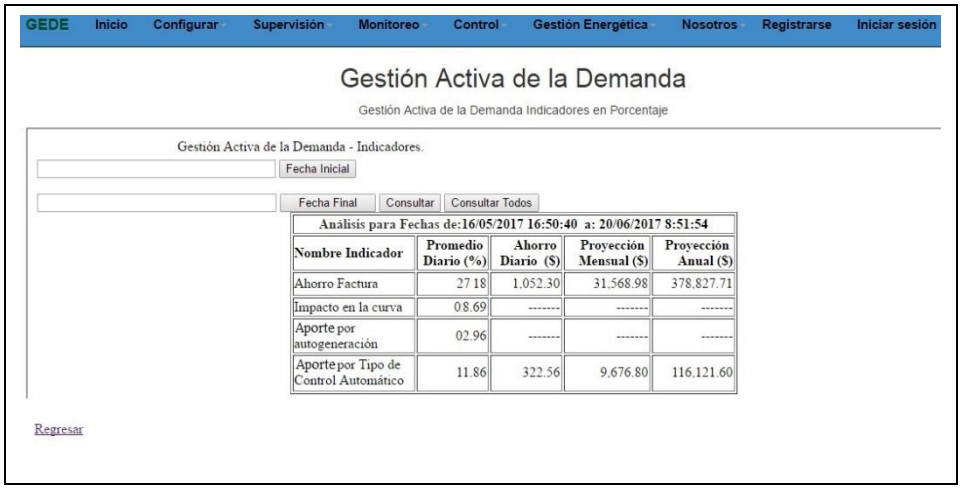


Figura 5.4 Indicadores utilizados en la aplicación de software del GEDE
Fuente: Autora

5.4 Resultados de la proyección de los escenarios de gestión

Al proyectar los escenarios propuestos utilizando estrategias GAD, teniendo como base algunos de los indicadores mencionados, se consiguen las siguientes alternativas de evaluación: tipo de estrategias propuestas, análisis financiero al poner en funcionamiento las estrategias y las proyecciones en el tiempo al invertir sistemas de gestión como el GEDE y la GD en las residencias, así como el impacto en el medio ambiente. En los siguientes apartados se describen cada uno de ellos.

5.4.1 Estrategias GAD propuestas

A continuación se muestran los principales resultados al aplicar estrategias GAD, teniendo como base las simulaciones previas del Capítulo 3, variando los hábitos de consumo de los usuarios residenciales para cada uno de los escenarios. En algunos de los cálculos se tuvo en cuenta la cantidad de suscriptores de la ciudad de Bogotá en el estrato 4 de 219.842. Las estrategias de gestión para los escenarios 1 y 2, por ser enfocados a la iluminación de la vivienda se proyectaron con los diseños 1 y 2, ya que estos manejan una capacidad de generación baja, a diferencia del diseño 3, con el cual se proyectaron las estrategias para los escenarios 3 y 4.

Estrategia GAD - 1 con GEDE y SPV

La primera estrategia GAD que se analiza es la puesta en funcionamiento del GEDE y los SPV, sin tener en cuenta posibles variaciones en los hábitos de consumo. La Tabla 5.6, muestra la proyección de los consumos al mes, el porcentaje que se consume con SPV y los kWh/mes para inyectar a la red (se deja almacenada un 20% en las baterías), teniendo en cuenta el contexto del agregador.

	Escenario 1		**Escenario 2**		**Escenario 3 y 4**
	Diseño 1	**Diseño 2**	**Diseño 1**	**Diseño 2**	**Diseño 3**
Consumo Curva Base kWh/mes	171,01	171,01	171,01	171,01	171,01
Consumo adicionando control de operación automática GEDE kWh/mes	162,99	162,99	167,04	167,04	166,97
Energía proveniente del SI adicionando SPV kWh/mes	156,27	134,22	160,31	152,29	90,86
Porcentaje que se consume con SPV %	3,93	16,83	3,93	8,62	44,51
Total inyectar a la red por SPV kWh/mes	0	32,31	0	46,34	15,52

Tabla 5.6 Estrategia GAD 1 con GEDE y SPV
Fuente: Autora

Cuando se proyectan los escenarios l y 2 con el diseño 1 de menor capacidad, y el GEDE en modo automático en el circuito de iluminación, se logra un consumo con el SPV de 3,93%. Sin embargo, toda la energía es consumida y no se inyectan excedentes a la red. Situación contraria cuando se proyecta con el diseño 2, en donde el escenario 2 presenta mayor nivel de energía para inyectar a la red, ya que solo contempla el periodo pico de la noche.

Los escenarios 3 y 4, tienen los mismos valores ya que en esta estrategia GAD no están incluidos los cambios en los hábitos de consumo y se están analizando periodos de tiempo similares para ambos casos. La energía suministrada por la generación distribuida es de 44,51%, para un consumo de 90,86 kWh/mes, con energía proveniente del sistema interconectado. Al analizar los cuatro escenarios, se observa que los escenarios 3 y 4 son los que más porcentaje de autoconsumo presentan, sin embargo, son los que menos energía inyectan a la red, ya que suplen su consumo con autogeneración del SPV.

Estrategia GAD-2 con GEDE, SPV y hábitos de consumo

La segunda estrategia GAD analizada es la puesta en funcionamiento del GEDE, los SPV y cambios en los hábitos de consumo de acuerdo a cada escenario. La Tabla 5.7 muestra la proyección de los consumos al mes, el ahorro, la energía suministrada por el SPV y los kWh/mes de excedentes para inyectar a la red.

En los escenarios 1, 2 y 3, se percibe un ahorro por cambiar los hábitos de consumo y tener el control automático del GEDE, en cada uno de los diseños,

siendo el escenario 3 el que más ahorra con un 65,76%. Cuando se observa el escenario 4, al cambiar la tecnología en algunos de los dispositivos de las viviendas, este ahorro es del 29,97%, haciendo inferir que un elemento importante para ahorrar energía es la renovación de la tecnología, ya que con esto no se sacrifica el confort.

Los escenarios 2 y 3, inyectan cantidad de energía similar al SI pese a que están proyectados con diseños distintos, sin embargo, la diferencia se refleja en el ahorro de energía, donde en el escenario 2 es de 7,12 kWh/mes. El escenario 3 es el que más energía deja de consumir del SI, con 111,36 kWh/mes, mientras que el escenario 2 con el diseño 1 es el que menos con 13,85 kWh/mes.

	Escen 1		**Escen 2**		**Escen 3**	**Escen 4**
	Diseño 1	**Diseño 2**	**Diseño 1**	**Diseño 2**	**Diseño 3**	**Diseño 3**
Consumo Curva Base kWh/mes	171,01	171,01	171,01	171,01	171,01	171,01
Consumo con hábitos consumo kWh/mes	160,73	160,73	167,53	167,53	110,32	147,81
Consumo con control operación automática GEDE kWh/mes	153,5	153,5	163,89	163,89	105,25	141,04
Ahorro por los dos elementos anteriores kWh/mes	17,51	17,51	7,12	7,12	65,76	29,97
Energía suministrada por SPV kWh/mes	6,73	28,78	6,73	14,75	45,6	60,96
Consumo energía total con GAD 2 kWh/mes	146,77	124,72	157,16	149,14	59,65	80,08
Energía que se deja de consumir del SI kWh/mes	24,24	46,29	13,85	21,87	111,36	90,93
Total excedentes inyectar al SI por SPV kWh/mes	0	32,31	0	46,34	46,03	30,67

Tabla 5.7 Estrategia GAD 2 con GEDE, SPV y cambios en los hábitos de consumo
Fuente: Autora

Para una visión general del aporte a la curva de demanda con el escenario 3, aplicando la estrategia GAD-2, se muestra en la Figura 5.5, donde está la curva de demanda base, la curva de demanda con GAD-2 y la potencia suministrada tanto por el SI y la GD. Se resalta los periodos de tiempo 6-9 y 18 -21 horas, donde la energía es complemente suministrada por la fuente de alimentación proveniente de la GD. Además, los cambios en los hábitos de consumo y el uso del sistema de gestión disminuyen la demanda durante todo el día.

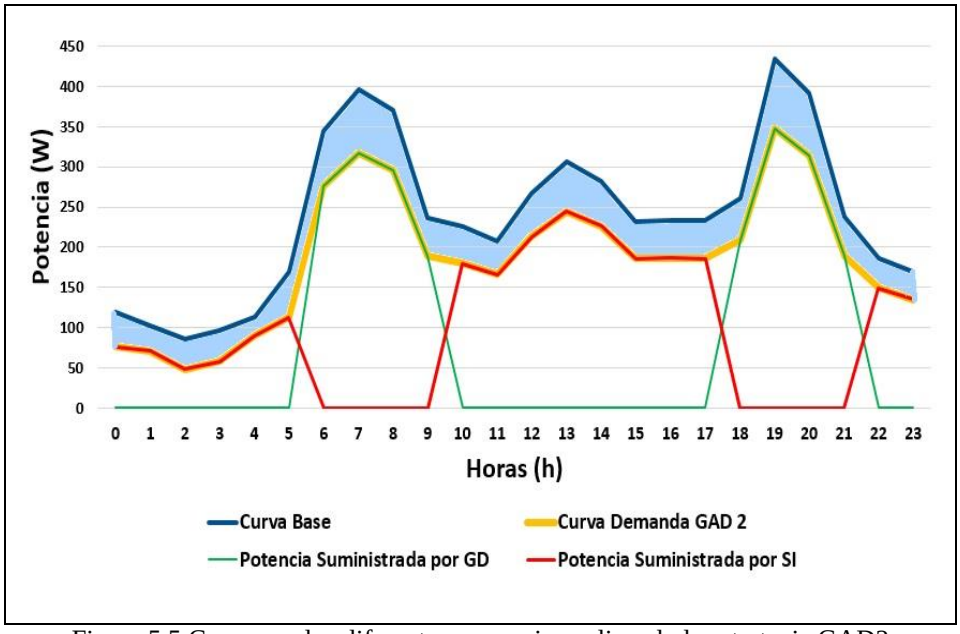


Figura 5.5 Curva con los diferentes escenarios aplicando la estrategia GAD2
Fuente: Autora

Comparación entre estrategias GAD 1 y GAD 2

La aplicación de estrategias GAD da como resultado un ahorro de energía, aportado por el control que se realice a los electrodomésticos mediante sistemas de gestión eléctrica y sobretodo de los cambios en los hábitos de consumo. Otro elemento importante en este tipo de estrategias es la energía que se deja de consumir del SI, que es reemplazada por la GD, que depende de factores técnicos como la capacidad del diseño fotovoltaico que se instale.

La Tabla 5.8, muestra la comparación de los porcentajes de ahorro entre las dos estrategias. Para los escenarios 1 y 2, los cuales están enfocados en la iluminación, la proyección de ahorro aproximado al mes con la estrategia GAD 1, es de 8,62 y 6,26 % para el diseño 1 y de 21,52 y 10,95% para el diseño 2 en cada escenario respectivamente. Los anteriores valores aumentan al proyectar la estrategia GAD 2, siendo el escenario 1 el que más aporta con el diseño 2 en un 27,07%.

En cuanto a los escenarios 3 y 4, en ambas estrategias los porcentajes de ahorro son mayores al 46%, situación favorable para los usuarios ya que esto se vería reflejado en la factura de pago de manera proporcional.

	Escenario 1		Escenario 2		Escenario 3	Escenario 4
	Diseño 1	**Diseño 2**	**Diseño 1**	**Diseño 2**	**Diseño 3**	**Diseño 3**
Estrategia GAD 1						
Porcentaje ahorro %	8,62	21,52	6,26	10,95	46,87	46,87
Estrategia GAD 2						
Porcentaje ahorro %	14,17	27,07	8,10	12,79	65,12	53,17
Diferencia entre estrategias %	5,55	5,55	1,84	1,84	18,25	6,3

Tabla 5.8 Porcentajes de ahorro entre las estrategias GAD propuestas
Fuente: Autora

5.4.2 Análisis financiero de las estrategias GAD

Se efectuó el análisis financiero de las dos estrategias GAD propuestas teniendo en cuenta los siguientes parámetros: proyección de recursos a obtener cuando son implementadas las estrategias, evaluación de la inversión del SPV y del GEDE en diferentes periodos de tiempo y una propuesta para incentivar la inversión.

Proyección de recursos financieros

Se realizó la proyección de recursos financieros con base en dos sentidos: el incentivo por inyectar los excedentes de energía a la red y el ahorro que tiene el usuario activo por las estrategias GAD. De igual manera se proyectó para el supuesto de que un grupo de usuarios (114) y el total de suscriptores del estrato 4 de la ciudad de Bogotá acojan estas estrategias, los resultados se presentan en la Tabla 5.9, mostrando que cuando los valores se trasladan a un grupo de usuarios, las cifras pueden impactar a gran escala.

La estrategia que más aporta en recursos financieros es la GAD 2, puesto que ella incorpora un elemento importante como es el cambio en los hábitos de consumo. Para la implementación de estas estrategias es necesaria la participación de los agregadores, que hagan efectiva la participación de varios usuarios en el proceso, ya que con esto se puede impactar toda la cadena de valor de la energía eléctrica y el usuario activo aportaría para que el proceso sea bidireccional.

	Escenario 1		Escenario 2		Escenario 3	Escenario 4
	Diseño 1	**Diseño 2**	**Diseño 1**	**Diseño 2**	**Diseño 3**	**Diseño 3**
Estrategia GAD 1						
Incentivo Inyectar a red año por usuario	$ 0	$ 68.083	$ 0	$ 97.640	$ 32.705	$ 32.705
Ahorro dinero año por usuario	$ 77.656	$ 193.812	$ 56.358	$ 98.621	$ 422.213	$ 422.213
Total beneficio Incent + ahorro /año por usuario	$ 77.656	$ 261.896	$ 56.358	$ 196.262	$ 454.918	$ 454.918
Dinero año por 114 usuarios	$ 8.852.784	$ 29.856.144	$ 6.424.812	$ 22.373.868	$ 51.860.652	$ 51.860.652
Dinero año por total usuarios estrato 4	$17.072.224.976	$ 57.575.819.530	$ 12.389.982.510	$ 43.146.736.385	$100.010.210.661	$100.010.210.661
Estrategia GAD 2						
Incentivo inyectar a red año por usuario	$ 0	$ 68.083	$ 0	$ 97.640	$ 96.991	$ 64.630
Ahorro dinero año por usuario	$ 27.675	$ 243.831	$ 72.950	$ 115.213	$ 586.593	$ 478.985
Total beneficio Incent + ahorro /año por usuario	$ 127.675	$ 311.914	$ 72.950	$ 212.854	$ 83.584	$ 543.616
Dinero año por 114 usuarios	$ 14.554.950	$ 35.558.196	$ 8.316.300	$ 24.265.356	$ 77.928.576	$ 61.972.224
Dinero año total usuarios estrato 4	$ 28.068.374.672	$ 68.571.969.226	$ 16.037.648.004	$ 46.794.401.878	$ 148.229.721.728	$119.509.686.763

Tabla 5.9 Proyección de recursos al implementar cada una de las estrategias GAD
Fuente: Autora

Viabilidad de la Inversión del Sistema Fotovoltaico y GEDE

Otro elemento para el análisis de las estrategias GAD es la viabilidad económica de la inversión que el usuario activo debe realizar para ponerlas en práctica, en este caso es la adquisición del SPV y del GEDE, para estas proyecciones se tuvo en cuenta el Valor Presente Neto (VPN) (Petković, et al., 2016) y la Tasa Interna de Retorno (TIR) (Magni, 2016), con las siguientes ecuaciones:

$$VPN = -CF_0 + \sum_{t=1}^{n} CF_t/(1+r)^t \qquad (5.10)$$

$$TIR = {-CF_0 + \sum_{t=1}^{n} CF_t}\Big/{\sum_{t=1}^{n} r * CF_t} \qquad (5.11)$$

Donde:
CF_0 = Flujo de Caja inicial
r = Tasa Interna de oportunidad

De igual manera para la proyección de los flujos de caja anuales se consideró lo siguiente:

- Costos asociados al cambio de baterías cada cinco (5) años según especificaciones de los fabricantes.
- Proyección máxima a 25 años según especificaciones de los fabricantes.
- Variación de los precios a lo largo del tiempo, de acuerdo al índice de precios al consumidor (IPC), que para el año 2016 fue del 5,75% (DANE, 2017).
- Se proyectó la Tasa Interna de Oportunidad (TIO) en 10% (Pina, 2017).
- Costo del GEDE: $1.200.000, de acuerdo al Capítulo 4.
- Costo del micro inversor a red de $1.000.000.

Se procedió a calcular el VPN de la inversión y la TIR para cada una de las estrategias, escenarios y diseños propuestos, con el fin de evaluar la inversión en los siguientes periodos de tiempo: 25, 20, 10, 15 y 5 años, de igual manera se realizó el cálculo del precio del kWh, asegurando el retorno de la inversión.

Al analizar la estrategia GAD 1, y tomando como base el precio del kWh de referencia para esta investigación de $438,96, en la proyección realizada para 25 años, en ninguno de los dos diseños en el escenario 2 alcanza a retornar la inversión, es decir, que al cumplir este tiempo no se ha amortizado los sistemas en su totalidad y por el contrario se tendría que invertir en nuevos paneles solares y baterías. En cuanto a los escenarios 1, 3 y 4, su inversión se retornaría mínimo en 18 años con el diseño fotovoltaico de menor capacidad. Planteando la posibilidad de retornar la inversión a 10 años, el VPN, en todos los escenarios proyectó valores negativos, es decir, que no son viables financieramente para su realización, además los precios proyectados del kWh son muy elevados, llegando al orden de $2.355 en el escenario 2 con el diseño 1. Con relación a la TIR, en ninguno de los cálculos igualó la TIO del 10%, por lo tanto la inversión no sería factible para los usuarios.

En cuanto a la estrategia GAD 2, el menor tiempo de retorno de la inversión se presenta en el escenario 1 – diseño 1 con 15 años, el cual sigue siendo muy elevado con relación al costo, y el mayor está en el escenario 2 – diseño 2, donde no retorna la inversión ni a los 25 años. El VPN en esta estrategia también presenta valores negativos en todos los escenarios y la proyección del precio kWh es un poco menor que en la estrategia GAD 1, pero continúan siendo no viables para los usuarios, con relación a la TIR, los valores siguen siendo menores que la TIO, sin embargo, en el escenario 2 – diseño 1, éste se presenta negativo, lo que se debe a la poca capacidad de generación del diseño.

Las proyecciones de retorno de inversión del SPV y el GEDE propuestos no son alentadoras para los usuarios residenciales, debido a que en el caso más favorable tomaría 15 años para su recuperación teniendo como referente el precio del kWh establecido como base, y su VPN negativo, lo cual no haría factible la inversión para este tipo de sistemas. De igual manera, si se desean tiempos de retorno del capital más cortos, el precio del kWh se debe incrementar a más de 4 veces del precio base actual, desincentivando su uso. Los datos a manera de resumen se muestran en la Tabla 5.10, las demás proyecciones de viabilidad en diferentes periodos están en el Apéndice 16.

Propuesta Estrategia GAD con supuesto gubernamental

Con base en los anteriores resultados, se propone una estrategia GAD, donde se involucra un supuesto gubernamental como posible política para incentivar el uso de estos sistemas en el ámbito residencial, teniendo en cuenta las siguientes consideraciones:

- Ahorro por implementar la estrategia GAD con: precio kWh de $438,39, variación hábitos de consumo, GEDE y SPV inyectando los excedentes de energía a la red.
- Proyección adicional en el supuesto que el gobierno aporte el 100% del SPV y el inyector a red como incentivo al usuario residencial.

Con lo anterior se realizó la proyección financiera, a 25, 20 y 15 años, el VPN y la TIR, dando valores favorables para los usuarios activos, con tasas superiores a la TIO representando para la inversión un buen comportamiento del dinero en el tiempo (Ver Apéndice 17). Analizando la proyección a 10 años como se observa en la Tabla 5.11, los valores del VPN dan negativos para el diseño 1 en los escenario 1 y 2, ya que la cantidad de energía que se genera es muy poca y por ende el dinero que se ahorra con las estrategias GAD no es suficiente. En cuanto a los escenarios 1, 3 y 4 para la estrategia GAD 2, la TIR siempre da por encima de la TIO, lo cual representa que la inversión es favorable financieramente. Referente al retorno de la inversión, el escenario 2 en ambos diseños es el que más demora para las dos estrategias GAD, entre 18 y 14 años, y los que menos demoran son los escenarios 3 y 4 con la estrategia GAD 2, entre 2 y 3 años. Este tipo de incentivos se pueden proponer como política pública de acuerdo a la normatividad vigente en el país.

	Escenario 1		Escenario 2		Escenario 3	Escenario 4
	Diseño 1	**Diseño 2**	**Diseño 1**	**Diseño 2**	**Diseño 3**	**Diseño 3**
Estrategia GAD 1						
Retorno Inversión con precio base kWh	24 años	24 años	No se retorna a los 25 años	No se retorna a los 25 años	21 años	21 años
Proyección VPN a 10 años	-$ 1.230.589,51	-$ 1.515.455,03	-$ 1.230.445,64	-$ 1.519.331,76	-$ 2.142.026,68	-$ 2.142.026,68
Proyección TIR a 10 años	0%	4%	0%	4%	4%	4%
Proyección precio kWh/mes a 10 años	$1.709	$1.137	$2.355	$1.516	$922	$922
Estrategia GAD 2						
Retorno Inversión con precio base kWh	24 años	22 años	16 años	No se retorna a los 25 años	16 años	18 años
Proyección VPN a 10 años	-$ 1.229.521,06	-$ 1.518.807,17	-$ 2.369.173,74	-$ 1.518.740,55	-$ 2.137.448,84	-$ 2.138.236,60
Proyección TIR a 10 años	0%	4%	-12%	4%	4%	4%
Proyección precio kWh/mes a 10 años	$ 1.040	$ 954	$ 844	$ 1.398	$ 614	$ 772

Tabla 5.10 Proyección viabilidad de la inversión
Fuente: Autora

	Escenario 1		Escenario 2		Escenario 3	Escenario 4
	Diseño 1	**Diseño 2**	**Diseño 1**	**Diseño 2**	**Diseño 3**	**Diseño 3**
Estrategia GAD 1						
Retorno Inversión con precio base kWh	13 años	12 años	17 años	18 años	7 años	3 años
Proyección VPN a 10 años	-$ 654.461,72	$ 639.819,56	-$ 406.286,95	$ 178.742,16	$ 1.318.383,24	$ 2.618.899,34
Proyección TIR a 10 años	-5%	21%	1%	13%	31%	49%
Estrategia GAD 2						
Retorno Inversión con precio base kWh	9 años	8 años	14 años	17 años	2 años	3 años
Proyección VPN a 10 años	-$ 303.082,77	$ 991.198,52	-$ 406.111,07	$ 295.302,31	$ 3.602.176,05	$ 2.618.899,34
Proyección TIR a 10 años	4%	27%	1%	15%	61%	33%

Tabla 5.11 Proyección Estrategia GAD con supuesto gubernamental
Fuente: Autora

5.4.3 Estrategias GAD y su impacto con el medio ambiente

De acuerdo a la encuesta, el 57,52% de las personas tienen como motivación principal la contribución con el medio ambiente, y el 76,32% están dispuestos a efectuar una inversión en SPV. Por tal razón, se analiza el impacto que tiene en el medio ambiente la utilización de energía alternativa. Para calcular las emisiones de dióxido de carbono - CO_2 en el medio ambiente y de acuerdo a la literatura, se tomó como base el factor de emisión para los paneles policristalinos de silicio (p-Si) propuesto por los autores (Nian, 2016), de 56 g-CO_2/kWh. Con relación a la factor de emisión de CO_2 del sistema interconectado se tomó como base el determinado por la normatividad en Colombia de 0,388 Ton de CO_2/MWh para el 2016 (Factor de emision de gases, 2015), (Factor de Emisión marginal para proyectos MDL, 2014).

La Tabla 5.12, muestra el total de emisiones g-CO_2/kWh al año por usar el SPV y el sistema interconectado, de acuerdo a los periodos de tiempo establecidos en cada escenario. El escenario 2 es el que menos contribuye con el medio ambiente en las dos estrategias GAD ya que solo se aplica para el periodo de tiempo comprendido entre las 18-21 horas, mientras que el escenario 3 es el que más contribuye ya que se proyectó con un mayor porcentaje en los cambios de hábitos de consumo.

	Escenario 1		**Escenario 2**		**Escenario 3**	**Escenario 4**
	Diseño 1	**Diseño 2**	**Diseño 1**	**Diseño 2**	**Diseño 3**	**Diseño 3**
Estrategia GAD 1						
Emisiones g-CO_2 / kWh Año SPV	5.648,70	51.314,70	5.648,70	51.314,70	76.972,05	76.972,05
Emisiones g-CO2 / kWh Año SI	68.641,42	171.312,54	49.815,77	87.172,52	373.197,49	373.197,49
Contribución g-CO2 / kWh /año que se dejan de emitir	62.992,72	119.997,84	44.167,07	35.857,82	296.225,44	296.225,44
Estrategia GAD 2						
Emisiones g-CO_2 / kWh Año SPV	5.648,70	51.314,70	5.648,70	51.314,70	76.972,05	76.972,05
Emisiones g-CO2 / kWh Año SI	112.853,07	215.524,19	64.481,75	101.838,50	518.494,02	423.378,93
g-CO2 / kWh Año que se dejan de emitir	107.204,37	164.209,49	58.833,05	50.523,80	441.521,97	346.406,88

Tabla 5.12 Contribución aproximada con el medio ambiente
Fuente: Autora

5.5 Discusión del capítulo

En este capítulo se presenta la proyección de estrategias GAD para cuatro escenarios de implementación, en donde se tiene en cuenta elementos como son el tipo de control proveniente del sistema GEDE, el tipo de señal mediante la cantidad de recursos energéticos del SPV y el tipo de incentivo representado por los cambios en los hábitos de consumo. Se obtuvo resultados referentes al ahorro en consumo, porcentaje de empleo de GD, proyección de recursos financieros, tiempo de retorno de la inversión, aplicación de un supuesto incentivo gubernamental y la contribución al medio ambiente, de los cuales algunos de ellos sirven como fundamento el agregador.

Al comparar los resultados, se observa que los mayores porcentajes de ahorro de energía se presentan con la estrategia GAD 2. Referente al medio ambiente las dos estrategias contribuyen, teniendo en cuenta el tipo de diseño SPV seleccionado. Para el retorno de la inversión, ambas estrategias GAD presentan tiempos muy extensos, lo cual no las hace factibles. Con relación a los recursos financieros al poner en práctica cualquiera de las estrategias GAD, cuando estos valores son trasladados a un grupo con mayor número de usuarios, los ahorros se incrementan, con lo que se infiere la importancia del papel activo que los usuarios juegan, pasando de ser solo receptores a tomar sus decisiones de consumo y/o generación de energía.

Se realizó la proyección de los consumos promedio y porcentaje de uso de los electrodomésticos de acuerdo a grupos de dispositivos del estrato 4 de la ciudad de Bogotá, lo que sirvió de insumo para la proyección de estrategias y escenarios, y de acuerdo a esto, se pudo establecer que al cambiar la tecnología de algunos de los dispositivos de las viviendas se observa un mejor comportamiento en la curva de demanda, haciendo inferir que un elemento importante para disminuir el consumo de energía, es cambiar y modernizar la tecnología de los electrodomésticos.

Se planteó la formulación de dos tipos de estrategias GAD, con las cuales se desarrolló un análisis respecto a la incidencia que se tiene en el consumo de energía eléctrica al emplear en las residencias: sistemas de gestión energética, sistemas de generación fotovoltaica y cambios en los hábitos de consumo. Con lo cual se aporta que para lograr efectos positivos en la implementación de estrategias GAD, es necesario proponer incentivos gubernamentales para la adquisición de alguno de estos sistemas (GEDE y SPV) como política pública conforme a la normatividad en el país, lo anterior es de acuerdo a que en las proyecciones financieras realizadas con este supuesto, el VPN y la TIR en diferentes periodos de tiempo, dan valores favorables, con tasas superiores a la tasa de oportunidad representando para la inversión del usuario activo un buen comportamiento de su dinero en el tiempo.

6. CONCLUSIONES GENERALES

En esta tesis doctoral se ha propuesto un sistema de gestión de energía domiciliaria denominado GEDE, enfocado a procesos de gestión energética en el hogar a través de la formulación de estrategias de gestión activa de la demanda, involucrado aspectos como: cambios en hábitos de consumo de energía, generación distribuida con sistemas fotovoltaicos, y agente agregador.

Con el desarrollo de un modelo estocástico para analizar la variable externa social enfocada a cambios en los hábitos de consumo de energía del usuario, se alcanzó el primer objetivo específico: "Caracterizar los hábitos de consumo de usuarios residenciales mediante un modelo estocástico, para establecer las curvas de carga típica que permitan predecir y analizar su comportamiento". Esta curva de carga se estableció mediante mediciones directas en las viviendas de los usuarios del estrato 4 en la Ciudad de Bogotá D.C.

El modelo presenta un comportamiento estocástico para evaluar la curva de demanda, que a diferencia de los modelos clásicos de tipo determinístico, permite obtener resultados más cercanos a la realidad, ya que tiene en cuenta diferentes comportamientos aleatorios de los usuarios cuando consumen energía eléctrica. Por lo tanto, el modelo obtenido puede predecir el comportamiento característico de cualquier usuario residencial estrato 4 de la ciudad de Bogotá, y facilita el análisis, la proyección de la demanda y gestión de los recursos energéticos de estos usuarios.

La curva de demanda obtenida a partir del modelo estocástico y la curva de demanda conseguida con las mediciones, presentan tendencias similares, observándose algunas diferencias que se encuentran dentro de la desviación estándar propia de la curva medida. La mayor demanda de energía se presenta en el horario comprendido entre las 5 y las 9 horas y entre las 18 y 21 horas, por ende, es necesario establecer incentivos o restricciones en estos períodos para que el usuario cambie los hábitos de consumo, con el fin de disminuir el impacto que este produce en el sistema interconectado nacional, especialmente en horas de la noche en la denominada "hora pico".

En cuanto a la renovación de algunos electrodomésticos por dispositivos con tecnologías más eficientes energéticamente, se puede alcanzar una disminución en el consumo de energía eléctrica de alrededor del 13,57%, evidenciando la importancia de las mejoras tecnológicas en los electrodomésticos para contribuir con la gestión energética.

El segundo objetivo, "Proponer un sistema de gestión de energía eléctrica domiciliaria encaminado a que el usuario domiciliario y el agregador interactúen en diferentes escenarios, soportados en los hábitos de consumo y precios del mercado" se alcanza en el Capítulo 4. Para lo anterior, se diseñó y desarrolló un prototipo de sistema de

gestión GEDE, que efectúa tareas de supervisión, monitoreo y control de las fuentes de alimentación y de las cargas que conforman la instalación eléctrica domiciliaria, lo que facilita realizar actividades tendientes a la gestión activa de la demanda y al aprovechamiento de las energías renovables en el sector residencial.

El prototipo de sistema de gestión GEDE se ubica en el contexto del Internet de la Cosas, ya que cada uno de los módulos y elementos que lo conforman, tienen una dirección IP asignada, lo que facilita la captura de datos para su procesamiento y toma de decisiones, además permite que el usuario interactúe con los electrodomésticos y fuentes de alimentación, ofreciendo información en tiempo real, sobre su estado de operación y el consumo de energía. Otro elemento, es la implementación de las comunicaciones con protocolos estándar ajustados al modelo TCP/IP, como el protocolo PLC, que tiene la ventaja de no requerir cableados adicionales al utilizar los mismos de la instalación eléctrica de la vivienda.

El prototipo GEDE está orientado para que el usuario activo interactúe con diferentes modos de operación al tener rutinas de software en la aplicación web que permiten: programar el encendido o apagado de los dispositivos conectados a los módulos GEDE-SCC, con el fin de utilizar la energía en horas de la madrugada para disminuir o suprimir su consumo en horas pico, realizar apagado de dispositivos que generalmente se tienen conectados y operan en estado de espera, y realizar el monitoreo de las baterías para conocer el nivel de energía disponible ya sea para el consumo interno o para ser ofertada al agregador, lo que facilita la implementación de estrategias GAD para gestionar la energía en el hogar.

Con el sistema GEDE, se realiza un proceso de apropiación tecnológica utilizando elementos de bajo costo y están desarrollados de manera modular, lo que facilita su implementación de manera gradual. Se puede comenzar con el GEDE-SCC, el cual ayuda al usuario activo a controlar sus cargas de manera que pueda supervisar sus consumos impactando en la disminución de la demanda. Luego el GEDE-CFA, que permite realizar el proceso de medida, supervisión y control de fuentes de alimentación y establecer los excedentes para que el agregador pueda ofertar la energía en el mercado eléctrico.

En el capítulo 5 se da cumplimiento al objetivo específico 3, "Evaluar la contribución del sistema de gestión de energía eléctrica domiciliaria para diferentes escenarios con base en indicadores de la gestión activa de la demanda". Al proyectar las estrategias GAD, el resultado indica que al unir el GEDE y hábitos de consumo, se observan mejores resultados de ahorro de energía. Adicionalmente, al tener SPV, se deja de consumir energía del SI, lo que aporta al sistema energético en general. Con relación a los recursos financieros, cuando los valores por implementar las estrategias GAD, de un solo usuario son trasladados a un mayor grupo, los ahorros se incrementan, cristalizándose la importancia del papel activo que los usuarios juegan en este nuevo escenario al tomar decisiones de consumo y/o generación de energía.

Con relación al retorno de la inversión, ambas estrategias GAD presentan tiempos muy extensos, haciéndolas no factibles, pero si el gobierno proporciona incentivos para la adquisición de sistemas fotovoltaicos, la TIR da resultados de 25% y 21%,

duplicando la tasa de oportunidad haciendo atractiva la inversión. Es decir, que existe la necesidad de plantear políticas públicas que fomenten la inversión de este tipo de proyectos domiciliarios bajo el contexto de la Ley 1715 del 2014. Se debe tener en cuenta que para el caso de los usuarios residenciales los incentivos tributarios como los que ofrece esta ley, aún no están regulados al escribir este documento.

Las emisiones de CO_2 que se dejan de producir son superiores en la estrategia GAD 2, ya que esta incluye que el usuario realice cambios en los hábitos de consumo, maneje el GEDE y use energía del SPV. Cabe resaltar que en el escenario proyectado en donde hay un mayor porcentaje en los cambios de hábitos de consumo (escenario 3), se contribuye en un 67% por encima de los otros escenarios, lo que hace necesario promover un mejor empleo de la energía eléctrica en las residencias para que incida favorablemente en el medio ambiente.

Desde la perspectiva del usuario activo, le será altamente beneficioso que genere energía para atender su consumo propio, pues podrá tener remuneración por los activos que conforman su sistema de generación y su sistema de gestión GEDE con un kWh al mismo valor de suministro. La energía que genere a partir de esta cantidad, mientras no exista una reglamentación clara, hará que el tiempo para la recuperación de las inversiones sea muy largo o en algunos casos no se recupere. Además, el usuario estará dejando de consumir energía proveniente del SI, contribuyendo a bajar los picos de la curva de demanda en algunos periodos de tiempo.

7. APORTES

Los siguientes son los principales aportes que se derivan del desarrollo de la tesis:

- El diseño y desarrollo de la metodología planteada para la caracterización de los hábitos de consumo de los usuarios residenciales de estrato 4 de la ciudad de Bogotá, se puede replicar en cualquier entorno residencial, mediante la aplicación de encuestas a una muestra aleatoria simple de la población para obtener las principales características de consumo de éstos.
- Construcción aproximada de la curva de carga del estrato 4 de la ciudad de Bogotá, ya que, por el grado de complejidad para la toma de mediciones y la cantidad de tiempo requerido para esto, se tomó un número limitado y aleatorio de las viviendas de tal manera que arrojaran una representación de la misma.
- Diseño y desarrollo del modelo estocástico de hábitos de consumo que refleja los cambios que se pueden presentar en la curva de carga de acuerdo al comportamiento aleatorio de consumo de energía.
- El prototipo de sistema GEDE en su conjunto es un aporte que se hace a la comunidad científica en lo que tiene que ver con el campo de investigaciones relacionados con gestión activa de la demanda y especialmente con los sistemas conocidos como HEMS en el contexto de Colombia, que sirve de soporte para la reglamentación de la ley 1715 de 2014.
- GEDE involucra aspectos internos como la infraestructura física de dispositivos que lo componen, protocolos de comunicación, y demás elementos utilizados en las instalaciones eléctricas domiciliarias, que se construyó con tecnología moderna, pero de bajo costo.
- Diseñó y desarrolló de dos prototipos de software con lenguajes de última generación, el primero para gestionar el hardware del GEDE con relación a captura de parámetros básicos de medidas eléctricas (tensión, corriente y energía), y el segundo software para el monitoreo, supervisión y control del sistema por medio de una aplicación web que permite su control de operación de manera: manual, semiautomática y automática.
- Proyección de los consumos promedios y porcentaje de uso de los electrodomésticos de acuerdo a grupos de dispositivos del estrato 4 de Bogotá.
- Se establece que la generación de energía con fuentes renovables tiene su mejor oportunidad si se logra atender el 100% de la demanda de energía en el hogar, pues el valor de reconocimiento del kWh generado, se haría al mismo valor de suministro que cobra el operador de red.
- Con base en el presente estudio, para afrontar situaciones como las originadas por el fenómeno del niño en Colombia y los problemas ambientales por la generación tradicional, se debe ampliar el alcance de las leyes, de tal forma que se haga un reconocimiento al sector residencial que implemente sistemas de autogeneración

con fuentes renovables que incluya no solo los elementos para la generación sino los elementos para la gestión similares al GEDE propuesto.

Divulgación

Como parte del desarrollo de la investigación se ha realizado la siguiente divulgación de avances por medio de publicaciones en revistas indexadas, ponencias y participación en convocatorias (Tabla 7.1).

Artículos publicados	Indexación
«Modeling For Home Electric Energy Management: a Review, » Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol. 52, p. 948–959, 2015.	Q1
«Internet of things backed by knowledge management for smart home, » Lectures Notes in Business Information Processing, pp. 514 - 527, 2015.	Q2
«Efficient home energy management based on incentives the Colombian law 1715/2014,» Ingeniería y Universidad – Universidad Javeriana, p. 221-238, 2016.	Q2
«Energy Resource Management Integrating Generation, Load Control and Change in Consumption Habits at the Residential Level,» International Journal of Renewable Energy Research (IJRER), vol (En edicion) , 2017	Q3
«Internet de los objetos empleando Arduino para la gestión eléctrica domiciliaria,» Revista de la Escuela de Administración de Negocios, nº 77, p.22 - 42, 2014.	Q3
«Modelo de Gestión de Energía Eléctrica Domiciliaria: Propuesta Preliminar,» Redes de Ingeniería – Universidad Distrital, vol. 6, nº 1, 2015.	Q4
Artículos en revisión	
«Energy Demand Projection Based on Consumption Habits in the Residential Sector, », p. En revisión, 2017.	Q1
«Active Demand-Side Management Strategies Focused on the Residential Sector, » The Electricity Journal, p. En revisión, 2017.	Q1
«Impact of Active Demand-Side Management over Residential Demand Curve, » IEEE Transactions on Engineering Management, p. En revisión, 2017.	Q1

Tabla 7.1 Artículos en revistas Indexadas
Fuente: Autora

La Tabla 7.2 muestra el detalle y tipo de congreso donde se realizó la respectiva ponencia.

Detalle	Tipo
«Propuesta para elaborar un Modelo de Gestión para redes eléctricas domiciliarias: Aproximación conceptual,» Sixth International Symposium on Energy & Technology Innovation Forum Puerto Rico Energy Center-Laccei, Gurabo – Puerto Rico, 2014.	Internacional
«Internet of things backed by knowledge management for smart home, » Knowledge Management conferences KMO Maribor, Slovenia, August 24-28, 2015	Internacional
«Stochastic Model of Demand Curve Supported in Consumption Habits of Electric Energy for Residential Sector», The IAFOR International Conference on Sustainability, Energy & the Environment. Hawaii – USA, January 5-7, 2017.	Internacional
«Propuesta de un sistema de gestión de energía eléctrica domiciliaria para la gestión activa de la demanda,» Tercer congreso internacional nuevas tendencias de la gestión del conocimiento en la ingeniería, Bogotá – Colombia, 2015.	Nacional

Tabla 7.2 Participación en congresos
Fuente: Autora

Para el desarrollo y apoyo económico de la tesis se participó en una convocatoria denominada "Apoyo a las investigaciones a desarrollarse mediante tesis doctorales del programa de doctorado en ingeniería de la universidad Distrital Francisco José de Caldas", por valor de $20.000.000, la cual se ganó.

8. RECOMENDACIONES Y FUTUROS TRABAJOS

Se esbozan algunas propuestas y recomendaciones para trabajos futuros de investigación orientados al sistema de gestión, los hábitos de consumo, gestión activa de la demanda y marco regulatorio:

Sistema de Gestión:

Como trabajo futuro a desarrollar se recomienda la búsqueda de dispositivos de medida, placas microcontroladoras y demás elementos que componen el sistema GEDE, con menores dimensiones para que sean de fácil adaptación en entornos residenciales, de igual manera debe prevalecer el bajo costo sin limitar las funcionalidades técnicas que se requieren o la proyección del desarrollo del prototipo a gran escala.

Desarrollo de algoritmos de optimización para el manejo y procesamiento de los grandes volúmenes de datos que se capturan tanto en las cargas como en las fuentes de alimentación, como apoyo en la toma de decisiones a los usuarios.

Diseño y desarrollo de software como apoyo al agente agregador, para la participación en los mercados eléctricos con los excedentes de energía disponibles de los usuarios residenciales.

Evaluar la escalabilidad del sistema de gestión no solo para el sector residencial sino para otros sectores productivos del país.

Incluir mejores técnicas de cifrado para la aplicación web desarrollada, ya que el Internet de las cosas, permite el acceso de los datos a internet, haciéndolo vulnerable a posibles ataques de hacker que tengan por objetivo cambiar el funcionamiento del sistema con fines de producir algún tipo desequilibrio.

Hábitos de consumo:

Evaluar la variable externa relacionada con hábitos de consumo en otros estratos sociales, teniendo en cuenta: los principales electrodomésticos empleados, tiempo de uso y características de consumo. De igual manera, la construcción de la curva de carga de los estratos más bajos para determinar acciones que involucren los hábitos de consumo y sus características propias al ser subsidiados por el estado.

Valorar posibles iniciativas relacionadas con cambios en los hábitos de consumo que sean procesos asertivos que se desarrollen en otras sociedades y que puedan ser replicadas y puestas en práctica en el entorno colombiano.

Gestión activa de la demanda:

Propuesta de programas y estrategias de gestión activa de la demanda que involucre no solo elementos del sector residencial sino la incorporación de vehículos eléctricos. Análisis de políticas públicas ejecutadas en otros entornos que promuevan la gestión activa de la demanda y puedan ser propuestas en Colombia con el fin de incentivar el buen uso de la energía eléctrica.

Investigar sobre mecanismos disponibles con el desarrollo de soluciones de software para la optimización del consumo eléctrico en los hogares por medio de la gestión activa de la demanda.

Desarrollo de iniciativas de gestión activa de la demanda enfocada al sector comercial.

Marco Regulatorio

De los resultados se determina la conveniencia de estos sistemas para contribuir con el sector energético nacional y aumentar la confiabilidad para el suministro de energía en el país; sin embargo, se hace necesario complementar con los siguientes análisis, si el usuario activo participa de la siguiente manera:

- Generar energía para atender su consumo completo durante las horas pico.
- Generar el cien por ciento (100%) de la energía para atender su consumo.
- Suministrar los excedentes de energía al sistema interconectado, siempre y cuando exista una reglamentación que le permita la remuneración de los kWh generados a un precio similar al costo de suministro.

9. REFERENCIAS

Aalami, H.-A., Parsa , M., & Yousefi, G.-R. (2015). Evaluation of nonlinear models for time-based rates demand response programs. *Electrical Power & Energy Systems*, 282–290.

Abbood, A. A., Salih, M. A., & Muslim, H. N. (2017). Management of electricity peak load for residential sector in Baghdad city by using solar generation. *International Journal of Energy and Environment*, 63-72.

Abubakar, I., Khalid, S., Mustafa, M., Shareef, H., & Mustapha, M. (2017). Application of load monitoring in appliances' energy management – A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 235–245.

Abushnaf, J., Rassau, A., & Górnisiewicz, W. (2015). Impact of dynamic energy pricing schemes on a novel multi-user home energy management system. *Electric Power Systems Research*, 124–132.

Acosta, J., & Gregory, M. (2015). Diseño e Implementación de una Red de Dispositivos de Gestión de Energía Eléctrica de Uso Residencial, Administrada desde una Aplicación Móvil. Bogotá: Universidad Distrital Francisco José de Caldas.

Ahmed, M. S., Mohamed, A., Khatibc, T., Shareef, H., Homod, R. Z., & Abd Ali, J. (2017). Real time optimal schedule controller for home energy management system using new binary backtracking search algorithm. *Energy and Buildings*, 215–227.

Ali, M., Alahäivälä, A., Malik, F., Humayun, M., Safdarian, A., & Lehtonen, M. (2015). A market-oriented hierarchical framework for residential demand response. *Electrical power and energy systems, 69*, 257-263.

Alsema, E. A. (2000). Energy pay-back time and CO2 emissions of PV systems. *Prog Photovoltaics*, 17–25.

Alves, H., Fernandes, C., & Raposo, M. (2016). Value co-creation: Concept and contexts of application and study. *Journal of Business Research*, 1626-1633.

Analog Device. (2017). Single-Phase Active and Apparent Energy Metering IC Datasheet. *Datasheet ADE7763*.

Analog Devices. (2017). *Analog Devices.* Recuperado el 01 de 07 de 2015, de Energy Metering ICs: http://www.analog.com/en/products/analog-to-digital-converters/integrated-special-purpose-converters/energy-metering-ics.html

Annala, S., Viljainen, S., Tuunanen, J., & Honkapuro, S. (2014). Does Knowledge Contribute to the Acceptance of Demand Response? *Journal of Sustainable Development of Energy, Water and Environment Systems, 1*, 51 - 60.

Apple, P. (14 de enero de 2010).

Arduino. (2017). *Arduino*. Recuperado el 18 de 8 de 2016, de https://www.arduino.cc/

Arduino. (2017). *Arduino Ethernet Shield*. Recuperado el 18 de 1 de 2017, de https://www.arduino.cc/en/Guide/ArduinoEthernetShield

Arribas González, C. (2012). *Análisis del Balance Neto Fotovoltaico.* Madrid: Universidad Carlo III de Madrid.

Asociación Chilena de Energía Solar . (17 de Octubre de 2016). *Fotovoltaico Distribuida*. Obtenido de http://www.acesol.cl/

Babar, M., Ahamed, I., Shah, A., AI-Ammar, E. A., & Malik, N. H. (2013). Novel Algorithm for Aggregated Demand Response Strategy for Smart Distribution Network. *3rd International Conference on Electric Power and Energy Conversion Systems.* Istanbul.

Baber, C., Borras, C., Hone, G., Macleod, I., McMaster, R., Salmon, P., & Stanton, N. A. (2005). *Cognitive task analysis: current use and practice in the UK Armed Forces and elsewhere.* Londres: HFI.

Barbato , M., Meneghini , M., Cester, A., Mura, G., Zanoni, E., & Meneghesso, G. (2014). Influence of Shunt Resistance on the Performance of an Illuminated String of Solar Cells: Theory, Simulation, and Experimental Analysis. *IEEE Transactions on Device and Materials Reliability*, 942 - 950.

Barot, S., & Taylor, J. (2017). A concise, approximate representation of a collection of loads described by polytopes. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 55-63.

Bautista, P., & Diaz, B. (2017). *Prototipo de instalación eléctrica residencial gestionable para integrar el uso de fuentes de energía renovable en Colombia.* Bogotá: Universidad Distrital Francisco José de Caldas.

Bayindir, R., Colak, I., Fulli, G., & Demirtas, K. (2016). Smart grid technologies and applications. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 499 – 516.

Beaglebone. (2017). *beagleboard.org*. Obtenido de http://beagleboard.org/bone

Beunder, A., & Groot, L. (2015). Energy consumption, cultural background and payment structure. *Journal of Cleaner Production, 94*, 137 -143.

Borenstein, S., Jaske, M., & Ros, A. (2002). Dynamic pricing, advanced metering, and demand response in electricity markets. *Chem Society Reviews, 128*, 4136 - 4145.

Boynuegri, R., Yagcitekin, B., Bays, M., Karakas, A., & Uzunoglu, M. (2013). Energy Management Algorithm for Smart Home with Renewable Energy Sources. *4th International Conference on Power Engineering, Energy and Electrical Drives.* Istanbul.

Browsershots. (Mayo de 2017). *Browser compatibily test*. Obtenido de http://browsershots.org/

Byun, J., Hong, I., & Park, S. (2012). Intelligent cloud home energy management system using household appliance priority based scheduling based on prediction of renewable energy capability. *Consumer Electronics, IEEE Transactions on, 58*, 1194-1201.

Cago, H., Palazuelos, E., & Anguas, J. I. (2010). New Approach Of Maintenance Of Power Transformers And Main Accessories: Off - Line Test Vs. On - Line Monitoring Systems. *Cigre Session.* Paris.

Calvillo, C. F., Sánchez Miralles, A., Villar, J., & Martín, F. (2016). Optimal planning and operation of aggregated distributed energy resources with market participation. *Applied Energy*, 340–357.

Capehart, B. L., Muth, E. J., & Storin, M. O. (1982). Minimizing residential electrical energy costs using microcomputer energy management systems. *Computers & Industrial Engineering, 6*(4), 261 - 269.

Castaño, N. (2013). *Una aproximación a la adopción de medidores inteligentes en el mercado eléctrico colombiano y su influencia en la demanda.* Mdellin: Universidad Nacional.

Castellanos, F., & López, V. (2016). *Evaluación del aplanamiento de la curva de carga en el estrato cuatro (4) de la ciudad de Bogotá por medio de programas de respuesta a la demanda; caso de estudio: 100 usuarios con acceso a generación distribuida.* Bogotá.

Centro Español de metrología. (2017). *Procedimiento para la calibración de comparadores mecánicos*. Obtenido de http://www.cem.es/sites/default/files/procedimientodi-010comparadores_mecanicos.pdf

Cerezo Moreno, M. Á. (2010). *Gestión activa de la demanda de energía eléctrica*. Madrid: Universidad Carlos III.

Chaudhari, K., & Ukil, A. (2016). TOU pricing based energy management of public EV charging stations using energy storage system. *Industrial Electronics Society* (págs. 460 - 465). Taipei: IEEE.

Chavali, P., Yang, P., & Nehorai, A. (2014). A Distributed Algorithm of Appliance Scheduling for Home Energy Management System. *IEEE Transactions On Smart Grid, 5*(1), 282 - 290.

Choi, D.-H., & Xie, L. (2016). A framework for sensitivity analysis of data errors on home energy management system. *Energy*, 166-175.

Choi, S., Shahidul, M., & Arafat, A. (2017). Detection and Estimation of Extremely Small Fault Signature by Utilizing Multiple Current Sensor Signals in Electric Machines. *IEEE Transactions on Industry Applications*, 1-10.

Clavijo, A., & Herrera, N. (2016). Prototipo de Sistema para la Gestión de un Electrodoméstico y una Salida de Alumbrado utilizando Protocolos y Convergencia IP. Bogotá: Universidad Distrital Francisco José de Caldas.

Codensa. (22 de Agosto de 2016). *Tarifas de energía de Codensa*. Recuperado el 22 de Agosto de 2016, de https://www.codensa.com.co/hogar/tarifas

Colin, J.-Y., Mathieu, H., & Nakechbandi, M. (2016). A Proposal for an Open Logistics Interconnection Reference Model for a Physical Internet. *International Conference on Logistics Operations Management*, (págs. 1-6). Fes.

Congreso de Colombia. (Mayo de 2014). *Ley 1715 del 2014*. Obtenido de http://www.upme.gov.co/Normatividad/Nacional/2014/LEY_1715_2014.pdf

Consorcio CORPOEMA - CUSA. (2012). *Caracterización Energética del Sector Residencial Urbano y Rural en Colombia* . Bogotá.

Cory D, K., Orr, R. J., Abowd, G. D., Atkeson, C. G., Essa, I. A., MacIntyre, B., . . . Newtetter, W. (1999). The Aware Home: A Living Laboratory for Ubiquitous Computing Research. In *Lecture Notes in Computer Science - Cooperative Buildings. Integrating Information, Organizations, and Architecture* (pp. 191 - 198). Springer.

Courage, C., Baxter, K., & Caine, K. (2005). *Understanding Your Users: A Practical Guide to User Requirements Methods Tools and Techniques.* San Francisco: Morgan Kaufmann Publishers.

Daae, J., & Boks, C. (2015). A classification of user research methods for design for sustainable behaviour. *Journal of Cleaner Production, 106*, 680 - 689.

DANE. (20 de Enero de 2017). *Departamento Administrativo nacional de estadística*. Obtenido de https://www.dane.gov.co/index.php

Darby, S. (2000). Making it Obvious: Designing Feedback into Energy Consumption. En *Energy Efficiency in Household Appliances and Lighting* (págs. 685-696). Berlin : Springer.

Dave, S., Sooriyabandara, M., & Yearworth, M. (2013). System behaviour modelling for demand response provision in a smart grid. *Energy policy, 61*, 172-181.

De la Horra Navarro, J. (2014). *Estadística Aplicada.* Madrid: Diaz de Santos.

Departamento de Planificación y Estudios. (2011). *IDAE - Análisis del consumo energético del sector residencial en España.* Madrid.

Dessens, O., Anandarajah , G., & Gambhir, A. (2016). Limiting global warming to 2C: What do the latest mitigation studies tell us about costs, technologies and other impacts? *Energy Strategy Reviews, 13*(14), 67- 76.

Domae, A., Oe, T., & Kiryu, S. (2016). Evaluation of a resistive voltage divider based on a quantized Hall resistance voltage divider. *Conference on Precision Electromagnetic Measurements (CPEM 2016)* (págs. 1-2). Ottawa: IEEE.

Dvořák, J., Novák, J., & Kocourek, P. (2014). Energy efficient network protocol architecture for narrowband power line communication networks. *Computer Networks*, 35–50.

Ek, K., & Soderholm, P. (2008). Households' switching behavior between electricity suppliers in Sweden. *Utilities Policy, 16*, 254–261.

Emmanuel, M., & Rayudu, R. (2016). Communication technologies for smart grid applications: A survey. *Journal of Network and Computer Applications*, 133–148.

Energía y Sociedad. (2014). *Energía y Sociedad. Redes eléctricas inteligentes.* Recuperado el 15 de Mayo de 2014, de http://www.energiaysociedad.es/pdf/smartgrids.pdf

Energy Spain. (17 de Octubre de 2016). *Venta de energía solar a la red eléctrica*. Obtenido de http://www.energy-spain.com/energia-solar/fv-inyeccion-a-red

Erol-Kantarcia, M., Sarker, J. H., & Mouftah, H. T. (2014). A four-way-handshake protocol for energy forwarding networks in the smart grid. *Ad hoc networks, 22*, 83-92.

Escobar, D. (2013). *Estudio Técnico - Económico para la Implementación Masiva de Sistemas Solares Fotovoltaicos para los Estratos Cinco y Seis de la Ciudad de Cali.* Cali: Universidad Autónoma de Occidente.

Estévez , E., Sánchez García, A., Gámez García, J., & Gómez Ortega , J. (2017). Aproximación Basada en UML para el Diseño y Codificación Automática de Plataformas Robóticas Manipuladoras. *Revista Iberoamericana de Automática e Informática industrial*, 82–93.

Etiquetado energético en Colombia. (Noviembre de 2016). *Proyecto de Normalización y Etiquetado en Eficiencia Energética en Colombia*. Obtenido de http://www.etiquetaenergetica.gov.co/

Factor de emision de gases, Resolución 857 (Unidad de Planeación Minero Energética 24 de Diciembre de 2015).

Factor de Emisión marginal para proyectos MDL, Resolución 9 1304 (Ministerio de Minas y Energía 25 de Nov de 2014).

Farmani, F., Parvizimosaed, M., Monsef, H., & Rahimi-Kian, A. (2018). A conceptual model of a smart energy management system for a residential building equipped with CCHP system. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 523–536.

Faruqui, A., Harris, D., & Hledik, R. (2010). Unlocking the h53 billion savings from smart meters in the EU: How increasing the adoption of dynamic tariffs could make or break the EU's smart grid investment. *Energy Policy, 38*, 6222–6231.

Faruqui, A., Sergici, S., & Sharif, A. (2010). The impact of informational feedback on energy consumption – a survey of the experimental evidence. *Energy, 35*, 1598–1608.

Fedesarrollo. (2013). *Análisis de la situación energética* . Bogotá.

Fera, M., Macchiaroli, R., Iannone, R., Miranda, S., & Riemma, S. (2016). Economic evaluation model for the energy Demand Response. *Energy*, 457-468.

Fluke brands. (17 de Agosto de 2016). *Fluke 435 Series II Power Quality and Energy Analyzer*. Obtenido de http://en-us.fluke.com/products/power-quality-analyzers/fluke-435-ii-power-quality.html

Fluke brands. (17 de Agosto de 2016). *Registrador trifásico de energía Fluke 1730*. Obtenido de http://www.fluke.com/fluke/coes/medidores-de-calidad-de-la-energia-electrica/logging-power-meters/fluke-1730.htm?pid=77038

Fluke brands. (2017). *Analizadores trifásicos de calidad eléctrica Serie 430 de Fluke*. Obtenido de http://www.fluke.com/

Gooding, L., & Gul, M. S. (2016). Energy efficiency retrofitting services supply chains: A review of evolving demands from housing policy. *Energy Strategy Reviews, 11*, 29 -10 .

Grandjean, A., Adnot, J., & Binet, G. (2012). A review and an analysis of the residential electric load curve models. *Renewable and Sustainable Energy Reviews, 16*, 6539–6565.

Hajipour , E., Vakilian, M., & Sanaye-Pasand, M. (2015). Current-Transformer Saturation Compensation for Transformer Differential Relays. *IEEE Transactions on Power Delivery*, 2293 - 2302.

Han, D., & Lim, J. (2010). Design and Implementation of Smart Home Energy Management Systems based on ZigBee. *Consumer Electronics, IEEE Transactions on, 56*, 1417 - 1425.

Heleno, M., Matos, M. A., & Pecas, J. A. (2016). A bottom-up approach to leverage the participation of residential aggregators in reserve services markets. *Electric Power Systems Research*, 425–433.

Hernández, A., & Carrillo, S. (2017). *Análisis de la curva de demanda eléctrica para usuarios residenciales estrato cuatro en la ciudad de Bogotá ante diferentes escenarios de los hábitos de consumo.* Bogotá.

Hernandez, L. , L., Baladron, C., Aguiar, J. M., Carro, B., Sanchez, A. J., Lloret, J., & Massana, J. (2014). A Survey on Electric Power Demand Forecasting: Future Trends in Smart Grids, Microgrids and Smart Buildings. *Communications Surveys & Tutorials, IEEE, 16*(3), 1460 - 1495.

Hernández, L. (2013). *Aplicación De Técnicas No Lineales y otros Paradigmas en Smart Grid/Microgrid/Virtual Power Plant.* Valladolid.

Hiller, C. (2015). Factors influencing residents' energy use—A study of energy-related behaviour in 57 Swedish homes. *Energy and Buildings, 87* , 243 – 252.

Holland, S. P., & Mansur, E. T. (2007). Is Real-Time Pricing Green? The Environmental Impacts of Electricity Demand Variance. *NBER Working Paper Series, 13508*.

HT Instruments. (17 de Agosto de 2016). *HT*. Obtenido de http://www.ht-instruments.com/en/products/power-quality-analyzers/touch-screen/pqa823/

Huang, G., Yang, J., & Wei, C. (2016). Cost-Effective and Comfort-Aware Electricity Scheduling for Home Energy Management System. *IEEE International Conferences on Big Data and Cloud Computing (BDCloud).* Atlanta.

Huang, S., Tushar, W., Yuen, C., & Otto, K. (2015). Quantifying economic benefits in the ancillary electricity market for smart appliances in Singapore households. *Sustainable Energy, Grids and Networks, 1*, 53-62.

Hung, M.-F., & Huang, T.-H. (2015). Dynamic demand for residential electricity in Taiwan. *Energy Economics*, 168–177.

Hutton, G., Mauser, P., Filiatrault, P., & Ahtola, O. (1986). Effects of cost related feedback on consumer knowledge and consumption behaviour: A field experiment approach. *Journal of Consumer Research*, 327 - 336.

IDEAM. (2016). *Radiación Solar Global- Estación Sierra Morena-Bogotá.* Bogotá.

Institute for electric innovation. (2014). *INNOVATIONS ACROSS THE GRID.* Washington: The Edison Foundation.

Jiménez, M. (2013). *Estudio de Viabilidad de Implementación de Tecnologías Smart Grids en el Mercado Eléctrico Colombiano.* Medellin: Universidad Pontificia Bolivariana.

JinSung, B., Boungiu, J., Junyoung, N., Youngil, K., & Sehyun, P. (2012). An intelligent self-adjusting sensor for smart home services based on ZigBee communications. *Consumer Electronics, IEEE Transactions on, 58*, 794 - 802.

Jinsung, B., Insung, H., & Sehyun, P. (2012). Intelligent cloud home energy management system using household appliance priority based scheduling based on prediction of renewable energy capability. *Consumer Electronics, IEEE Transactions on, 58*, 1194 - 1201.

Jones, R. V., & Lomas, K. J. (2016). Determinants of high electrical energy demand in UK homes: Appliance ownership and use. *Energy and Buildings, 117*, 71–82.

Kandil, M. S., El-Debeiky, S. M., & Hasanien, N. E. (2002). Long-Term Load Forecasting for Fast Developing Utility Using a Knowledge-Based Expert System. *IEEE TRANSACTIONS ON POWER SYSTEMS, 17*(2), 491 - 496.

Kazmi, A. H., O'Grady, M. J., & O'Hare, G. M. (2013). Energy Management in the Smart Home. *2013 IEEE 10th International Conference on Ubiquitous Intelligence & Computing.* Ireland.

Kieny, C., Berseneff, B., Hadjsaid, N., Besanger, Y., & Maire, J. (2009). On the concept and the interest of Virtual Power plant: some results from the European project FENIX. *Power & Energy Society General Meeting.* Calgary.

KLöckner, C. A., Matthies , E., & Hunecke, M. (2003). Problems of Operationalizing Habits and Integrating Habits in Normative Decision-Making Models. *Journal of Applied Social Psychology, 33*, 396 – 417.

Kua, J., Armitage, G., & Branch, P. (2017). A Survey of Rate Adaptation Techniques for Dynamic Adaptive Streaming over HTTP. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 1-25.

Lai, Y.-X., Lai, C.-F., Huang, Y.-M., & Chao, H.-C. (22 de Octubre de 2012). Multi-appliance recognition system with hybrid SVM/GMM classifier in ubiquitous smart home. *Information Sciences, 230*(230), 39-55.

Langlois, S., Benhaddadi, M., Jegen, M., & Pineau, P. O. (2015). Political-institutional barriers to energy efficiency. *Energy Strategy Reviews, 8*, 30 - 38.

Lee, D., & Cheng, C.-C. (2016). Energy savings by energy management systems: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 760-777.

Levine, D. M. (2010). *Estadistica Para Administracion.* México: PEARSON.

Li, F. G., Pye, S., & Strachan, N. (2016). Regional winners and losers in future UK energy system transitions. *Energy Strategy Reviews, 13*, 11 - 31.

Londoño, L., & Marín, J. (2014). *Metodología de la investigación holística. Una propuesta integradora desde las sociedades fragmentadas*. Recuperado el 19 de Febrero de 2014, de http://aprendeenlinea.udea.edu.co/revistas/index.php/unip/article/viewFile/12229/11094

López, G., Custodio, V., Moreno, J., Sikora, M., Moura, P., & Fernández, N. (2015). Modeling Smart Grid neighborhoods with the ENERsip ontology. *Computers in industry, 70*, 168-182.

Lopez, I., & Hernandez, M. (2015). nfrastructure based on supernodes and software agents for the implementation of energy markets in demand-response programs. *Applied Energy*, 1 - 11.

Lopez, J. Á., González, C., & Santos, L. (2013). Service Innovation and Custormer: Co-creation: effects on performance. *Revista española de investigación de marketing*, 79 - 101.

Los Verdes-FEP . (2014). *Generación Eléctrica Distribuida en Argentiba.* Buenos Aires: Creative Commons.

Louis, J. N., Caló, A., Leiviskä, K., & Pongrácz, E. (2016). Modelling home electricity management for sustainability: The impact of response levels, technological deployment & occupancy. *Energy and Buildings*, 218-232.

Luo, J., Jin, J., & Shan, F. (2017). Standardization of Low-Latency TCP with Explicit Congestion Notification: A Survey. *IEEE Internet Computing*, 48-55.

Magni, C. A. (2016). Capital depreciation and the underdetermination of rate of return: A unifying perspective. *Journal of Mathematical Economics, 67*, 54 - 79.

Meng, J., Ren, F., & Lin, C. (2017). Modeling and Understanding Burst Transmission for Energy Efficient Ethernet. *Computer Networks*.

Ministerio de minas y energia. (26 de Mayo de 2015). *Decreto único reglamentario del sector administrativo de minas y energía*. Recuperado el 2017, de https://www.minminas.gov.co/documents/10180/170046/Decreto+%F2nico+Reglamentario+Sector+Minas+y+Energ%92a.pdf/8f19ed1d-16a0-4a09-8213-ae612e424392

Ministerio de Minas y energía. (1 de Marzo de 2017). *Presidencia de la república*. Obtenido de http://es.presidencia.gov.co/normativa/normativa/DECRETO%20348%20DEL%2001%20DE%20MARZO%20DE%202017.pdf

Mohassel, R. R., Fung, A., Mohammadi, F., & Raahemifar, K. (2014). A survey on Advanced Metering Infrastructure. *Electrical Power and Energy Systems*, 473–484.

Montes Ruiz, A. (13 de Jan de 2015). *Virtual Power Plants*. Recuperado el 1 de Feb de 2016, de http://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/25230/TFG.pdf?sequence=1

Montgomery, D. C. (2014). *Diseño y análisis de experimentos.* México: Limusa.

Moore, R. (2010). Ethernet For IEC61850. *Pac World, 13*.

Muratori, M., Schuelke Leech, B. A., & Rizzoni, G. (2014). Role of residential demand response in modern electricity markets. *Renewable and Sustainable Energy Reviews, 33*, 546–553.

Nian, V. (2016). Impacts of changing design considerations on the life cycle carbon emissions of solar photovoltaic systems. *Applied Energy*, 1471–1487.

Niesten, E., & Alkemade, F. (2016). How is value created and captured in smart grids? A review of the literature and an analysis of pilot projects. *Renewable and Sustainable Energy Reviews, 53*, 629 - 638.

Nieto Vilardell, E. (2016). *Fuentes de alimentación conmutadas en la práctica.* México: Fidestec.

Nonaka, I. (1991). "The knowledge creating company. *Harvard Business Review , 69*(6), 96–104.

Nyeng, P., Kok, K., Pineda, S., Grande, O., Sprooten, J., Hebb, B., & Nieuwenhout, F. (2013). Enabling Demand Response by Extending the European Electricity Markets with a Real-Time Market. *4th IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies Europe (ISGT Europe).* Copenhagen.

Oficina europea de patentes. (Octubre de 2017). *Espacenet*. Obtenido de https://worldwide.espacenet.com/advancedSearch?locale=en_EP

Open Energy Monitor. (Mayo de 2017). *Open Energy Monitor system*. Obtenido de https://openenergymonitor.org/

Organización mundial de la propiedad intelectual. (Octubre de 2017). *Patentscope*. Obtenido de http://www.wipo.int/patentscope/es/

Osipov, G. V., Kurths, J., & Zhou, C. (2007). *Synchronization in oscillatory networks* (Vol. 1). Springer.

OZOM. (2017). *OZOM*. Recuperado el 10 de Septiembre de 2016, de http://www.ozom.com/es/

Palizban, O., Kauhaniemi, K., & Guerrero, J. M. (2014). Microgrids in active network management—Part I: Hierarchical control, energy storage, virtual power plants, and market participation. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*(36), 428 – 439.

Panos, E., Densing, M., & Volkart, K. (2016). Access to electricity in the World Energy Council's global energy scenarios: An outlook for developing regions until 2030. *Energy Strategy Reviews, 9*, 28 -49 .

Patterson, Z., Darbani, J. M., Rezaei, A., Zacharias, J., & Yazdizadeh, A. (2017). Comparing text-only and virtual reality discrete choice experiments of neighbourhood choice. *Landscape and Urban Planning*, 63–74.

Peng, J., Lu, L., & Yang, H. (2013). Review on life cycle assessment of energy payback and greenhouse gas emission of solar photovoltaic systems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 255–274.

Petković, D., Shamshirband, S., Kamsin, A., Lee, M., Anicic, O., & Nikolić, V. (2016). Survey of the most influential parameters on the wind farm net present value (NPV) by adaptive neuro-fuzzy approach. *Renewable and Sustainable Energy Reviews, 57*, 1270-1278.

Piette, M., Brown , R., Price, P., Page , J., & Granderson , J. (2013). *Automated Measurement and Signaling Systems for the Transactional Network.* Hawaii: Lawrence Berkeley National Laboratory.

Pigot, H., Lefebvre, B., Meunier, J. G., Kerherve, B., Mayers, A., & Giroux, S. (2003). Pigot H., Lefebvre B., Meunier J.G., Kerherve' B., Mayers A. and Giroux S., "The role of intelligent habitats in upholding elders in residence. *5th international conference on Simulations in Biomedicine, Slovenia.* Slovenia.

Pina, G. (2017). International Reserves and Global Interest Rates. *Journal of International Money and Finance*.

Podgornik, A., Sucic, B., & Blazic, B. (2016). Effects of customized consumption feedback on energy efficient behaviour in low-income households. *Journal of Cleaner Production, 130*, 25 - 34.

Poullikkas, A. (2013). A comparative assessment of net metering and feed in tariff schemes for residential PV systems. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 1–8.

PowerSim. (2 de Febrero de 2017). *PowerSim Software*. Recuperado el 26 de 1 de 2016, de http://www.powersim.com/main/products-services/academic-tools/

Preece, J., Sharp, H., & Rogers, Y. (2015). *Interaction design beyond human-computer interaction.* Gran Bretaña: Wiley.

Priya, B. E., & Sathish, K. K. (2016). A survey on residential Demand Side Management architecture, approaches, optimization models and methods. *Renewable and Sustainable Energy Reviews, 59*, 342–351.

Putra, L., Michael, Yudishtira, & Kanigoro, B. (2015). Design and Implementation of Web Based Home Electrical Appliance Monitoring, Diagnosing, and Controlling System. *Procedia Computer Science.* Jakarta.

Qian, C., Peschot, A., Osoba, B., Ye, Z. A., & King Liu, T.-J. (2017). Sub-100 mV Computing With Electro-Mechanical Relays. *IEEE Transactiones on electron devices*, 1315-1321.

Rajalingam, S., & Malathi, V. (2016). HEM algorithm based smart controller for home power management system. *Energy and Buildings*, 184-192.

Rasouli , M. (2010). A Game-Theoretic Framework for Studying Dynamics of Multi Decision-maker Systems. *The 28th International Conference of the System Dynamics Society.* Seoul.

Raspberry. (2017). *Raspberry Pi*. Recuperado el 24 de 1 de 2016, de https://www.raspberrypi.org/

Richardson, I., Thomson, M., Infield, D., & Clifford, C. (2010). Domestic electricity use: a high-resolution energy demand model. *Energy and Buildings , 42*, 1878–1887.

Ruellan, M., Park, H., & Bennacer, R. (2016). Residential building energy demand and thermal comfort: Thermal dynamics of electrical appliances and their impact. *Energy and Buildings, 130*, 46–54.

Sachdeva, A., & Wallis, P. (2010). *Our demand: reducing electricity use in victoria throughdemans management.* Melbourne: Monash Sustainability Institute.

Sajjad, I. A., Chicco, G., Aziz, M., & Rasool, A. (2014). Potential of residential demand flexibility - Italian scenario. *Systems, Signals & Devices (SSD), 11th International Multi-Conference on* (págs. 1 - 6). Barcelona : IEEE.

Santofimia, M. J., Del Toro García, X., & López, J. C. (2011). Técnicas de Inteligencia Artificial aplicadas a la Red Eléctrica Inteligente (Smart Grid). *TIC verdes: Tendencias y retos*, 29-34.

Scelba , G., De Donato, G., Pulvirenti, M., Giulii, F., & Scarcella, G. (2016). Hall-Effect Sensor Fault Detection, Identification, and Compensation in Brushless DC Drives. *IEEE Transactions on Industry Applications*, 1542 - 1554.

Seeed. (Abril de 2017). *Non-invasive AC Current Sensor*. Obtenido de https://www.seeedstudio.com

Seligman, & Darley, J. (1977). Feedback as a means of decreasing residential energy consumption. *Journal of Applied Psychology*, 363-368.

Senado República de Colombia. (1 de Junio de 1994). *Alcaldía de Bogotá*. Recuperado el 15 de Julio de 2015, de http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=2752

Shafie-khah, M., Moghaddam, M. P., Sheikh-El-Eslami, M. K., & Rahmani-Andebili, M. (2012). Modeling of interactions between market regulations and behavior of plug-in electric vehicle aggregators in a virtual power market environment. *Energy*(40), 139 - 150.

Shahgoshtasbi, D., & Jamshidi, M. M. (2014). A New Intelligent Neuro–Fuzzy Paradigm for Energy-Efficient Homes. *IEEE Systems Journal*.

Shakeri, M., Shayestegana, M., Abunima, H., Reza, S., Akhtaruzzamanb, M., & Alamoud, A. (2017). An intelligent system architecture in home energy management systems (HEMS) for efficient demand response in smart grid. *Energy and Buildings*, 154–164.

Sherwani , A., Usmani , J. A., & Varun . (2010). Life cycle assessment of solar PV based electricity generation systems: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 540–544.

Shin, J. W., Oh, J. H., Lee, S. M., Ko, J. J., Lee, S. Y., & Lee, S. E. (2017). In-Vehicle CAN FD Network for Smart Wearable Devices. *International Conference on Consumer Electronics* (págs. 45 - 46). Taipei: IEEE.

Shiraki, H., Nakamura, S., Ashina, S., & Honjo, K. (2016). Estimating the hourly electricity profile of Japanese households e Coupling of engineering and statistical methods. *Energy*, 478e491.

Snyder, A., Gunther, E., & Griffin, S. (2012). The smart grid homeowner: An IT guru? *Future of Instrumentation International Workshop (FIIW)*, 1 - 4.

Stokes, M. (2005). *Removing barriers to embedded generation : a fine-grained load model to support low voltage network performance analysis.* Leicester : Institute of Energy and Sustainable Development.

Superintendencia de servicios públicos domiciliarios. (31 de Agosto de 2016). *Energía*. Recuperado el 15 de Feb de 2016, de http://www.superservicios.gov.co/Energia-y-gas/Energia

Tao, T., Zhao, Z., Ma, W., Pan, Q., & Hu, A. (2016). Design of PCB Rogowski Coil and Analysis of Anti-interference Property. *IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility*, 344 - 355.

Tarish , H., Hang See, O., & Elmenreich, W. (2016). Residential demand response scheme based on adaptive consumption level pricing. *Energy*, 301-308.

The Cambridge. (2012). *The Cambridge Dictionary of Statistics.* . ISBN 0-521-81099-X.

Tibbo Systems. (Mayo de 2017). *Aggregate*. Obtenido de http://aggregate.tibbo.com/

TP-Link. (2017). *Nano Adaptador Powerline AV500*. Obtenido de http://www.tp-link.es/products/details/TL-PA4010.html

Ueno, T., Inada, R., Saeki, O., & Tsuji, K. (2005). Effectiveness of displaying energy consumption data in residential houses Analysis on how the residents respond. *What works & who delivers?*, (págs. 1289 - 1299). Mandelieu La Napoule.

UPME. (20 de Septiembre de 2016). *Caracterización energética sectores.* Obtenido de Caracterización energética sectores: http://www.upme.gov.co/Upme12/2007/Upme13/Caracterizacion_energetica_sectores.pdf

Usinas y Trasmisiones Eléctricas. (2017). *UTE*. Recuperado el 2017, de http://www.ute.com.uy/pags/generacion_privada/documentos/Decreto173_2010.pdf

Valhondo, D. (2003). *Gestión del conocimiento del mito a la realidad.* Madrid: Diaz de Santos.

Vallés, M., Frías, P., Reneses, J., & González, L. (2013). Gestión activa de la demanda para una Europa más eficiente. *Anales de mecánica y electricidad*, 55- 61.

Vega, A., Santamaría, F., & Rivas, E. (2015). Modeling For Home Electric Energy Management: a Review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 948-959.

Vladimirovna, O., & Gutiérrez González, E. (2014). *Probabilidad y Estadística: Aplicaciones a la Ingeniería y Ciencias.* México: Patria.

Wade, N. S., Taylor, P. C., Lang, P. D., & Jones, P. R. (2010). Evaluating the benefits of an electrical energy storage system in a future smart grid. *Energy Policy*, 7180–7188.

Wang, Y., & Li , L. (2016). Critical peak electricity pricing for sustainable manufacturing: Modeling and case studies. *Applied Energy*, 40–53.

Watts, D., Valdés, M. F., Jara, D., & Watson, A. (2015). Potential residential PV development in Chile: The effect of Net Metering and Net Billing schemes for grid-connected PV systems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 1037–1051.

Weiser, M. (1991). The Computer for the 21st Century. *Scientific American*, 94-10.

Wilson, C., & Marselle, M. R. (2016). Insights from psychology about the design and implementation of energy interventions using the Behaviour Change Wheel. *Energy Research & Social Science, 19*, 177 - 191.

Wise, K. D. (1981). Integrated sensors: interfacing electronics to a non-electronic world. *Sensors and actuators, 2*, 229 - 237.

Xu, W., Aboubakr, H., Zhuang, W., & Shen, X. S. (2017). Delay Analysis of In-Vehicle Internet Access Via On-Road WiFi Access Points. *IEEE Journals & Magazines*, 2736 - 2746.

Yager, R. R., & Espada, J. P. (2018). *New Advances in the Internet of Things.* Springer International Publishing.

Yao, R., & Steemers, K. (2005). A method of formulating energy load profile for domestic buildings in the UK. *Energy and Buildings , 37* , 663–671.

Yergin, D. (2011). The quest: energy, security, and the remaking of the modern world. *Pengin*, 387.

YHDC. (Mayo de 2017). *YHDC*. Obtenido de http://www.yhdc.com/

Yoo, J.-H., Yuasa, K., & Hwang, H. J. (2017). Evaluation of measures to improve residential energy policies considering occupant characteristics. *Energy Strategy Reviews*, 33-43.

Yu, Z., Jia, L., Murphy-Hoye, M. C., Pratt, A., & Tong, L. (2013). Modeling and Stochastic Control for Home Energy Management. *IEEE Transactions On Smart Grid, 4*(4), 2244 -2255.

Yue, T., Long, R., & Chen, H. (2013). Factors influencing energy-saving behavior of urban households in Jiangsu Province. *Energy Policy, 62*, 665 – 675.

Zaeri, M., Sharda, N., & Zahedi, A. (2014). A Five Layer Model for Simulating a Virtual Power Plant. *IEEE Innovative Smart Grid Technologies* (págs. 435 - 440). Kuala Lumpur: IEEE.

Zhang, Q., Yang, L. T., Chen, Z., & Li, P. (2018). High-order possibilistic c-means algorithms based on tensor decompositions for big data in IoT. *Information Fusion*, 72–80.

Zhang, Y., Zhang, T., Wang, R., Liu, Y., & Guo, B. (2015). Optimal operation of a smart residential microgrid based on model predictive control by considering uncertainties and storage impacts. *Solar Energy*, 1052–1065.

Zhao, C., Dong, S., Li, F., & Song, Y. (2015). Optimal Home Energy Management System with Mixed Types of Loads. *CSEE Journal of Power and Energy Systems, 1*, 29-37.

Zhou, B., Li , W., Chan, K., Cao, Y., Kuang, Y., Liu, X., & Wang, X. (2016). Smart home energy management systems: Concept, configurations, and scheduling strategies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews, 61*, 30 - 40.

Zhou, K., & Yang, S. (2016). Understanding household energy consumption behavior: The contribution of energy big data analytics. *Renewable and Sustainable Energy Reviews, 56*, 810 - 819.

Zhu, N., Bai , X., & Meng, J. (2011). Benefits Analysis of All Parties Participating in Demand Response. *Power and Energy Engineering Conference (APPEEC)* (págs. 1 - 4). Wuhan: IEEE.

10. APENDICES

APENDICE 1. PLANTILLA PRIMERA ENCUESTA

UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSE DE CALDAS
DOCTORADO DE INGENIERIA

Encuesta: CARACTERIZACION HABITOS CONSUMO ENERGÉTICOS DE USUARIOS RESIDENCIAL

Foco: Estrato 4, ciudad de Bogotá

Introducción: Esta encuesta es de carácter académico y anónima, enfocada a obtener datos relacionados con los hábitos de consumo energético, se consideraran cinco temas de análisis. Por favor, para responder la encuesta, lea cuidadosamente cada pregunta señalando con una "X" en el lugar donde se adecue más su situación. Muchas gracias por la colaboración.

A. Factores demográficos básicos

1.¿El rango de su edad está comprendida entre:

Menos de 18 años	Entre 30 y 40 años	Más de 55 años
Entre 18 y 30 años	Ente 40 y 55 años	

2.Su género es: Femenino ____ Masculino _____

3.¿Cuál es su nivel máximo de educación:

Primaria	Técnico o tecnólogo	Postgrado
Bachiller	Profesional	

4.¿Cuantas personas habitan su residencia?

1 persona	3 a 4 personas	Más de 6 personas
2 personas	5 a 6 personas	

5.¿Cuál es el área aproximada de su residencia?

Menos de 50 Mt^2	Entre 80 y 100 Mt^2	Más de 150 Mt^2
Entre 50 y 80 Mt^2	Entre 100 y 150 Mt^2	

6.¿Su residencia posee alguna de las siguientes propiedades térmicas?

Aislamiento ventanas	Aire acondicionado	Otro
Calefacción	Sistema ventilación	

B. HÁBITOS DE CONSUMO

Sobre Conocimiento de energía eléctrica

7.¿Usted es el que toma las decisiones de energía eléctrica en su residencia?
Si No No sabe / No responde

8.¿Cuál es su conocimiento sobre el uso apropiado de la energía eléctrica?
Alto Medio Bajo No sabe / No responde

9.¿Conoce sobre el término de eficiencia energética?
Si No No sabe / No responde

10. ¿Conoce los términos "hora pico y hora plana" relacionada con la energía eléctrica?
Si No No sabe / No responde

11. ¿Está familiarizado con el concepto del agente "agregador" de energía eléctrica?
Si No No sabe / No responde

12. ¿Está familiarizado con el concepto de "Redes Eléctricas inteligentes o Smart Grid"?
Si No No sabe / No responde

Sobre Conducta

13. Seleccione el día que usted considera consume más energía eléctrica en su residencia y según eso conteste las siguientes preguntas:
Lunes Martes Miércoles Jueves Viernes Sábado Domingo

14. ¿Posee algún tipo de dispositivo inteligente "domótica" para gestión energética en su residencia?
Si No No sabe / No responde

15. Marque la cantidad de dispositivos que tiene en su residencia.

	1-2	3-4	5-6	7-8	9-10	11-12	13-14
Iluminación (bombillos)							
Dispositivos entretenimiento y estudio							
Electrodomésticos para cocina							
Electrodomésticos para el frio (refrigeración, etc)							
Electrodomésticos calor (plancha, secadores, etc)							
Electrodomésticos para ropa (Lavadora y Secadora)							
Electrodomésticos aseo (Ducha, Calent eléctrico)							
Otros electrodomésticos							

16. En la siguiente tabla marque el porcentaje de uso de cada uno de los dispositivos señaladas y en qué hora es usado habitualmente en su residencia

		Hora de Uso en el día					
	Porcentaje Uso diario	0 – 6am	6 – 10 am	10am – 14pm	14 – 18 pm	18 – 21 pm	21 – 24pm
Iluminación (bombillos)	☐ 0 - 20% ☐ 20% - 50% ☐ 50% - 80% ☐ Mayor 80%						
Dispositivos de entretenimiento y estudio (Televisión, computadores, etc)	☐ 0 - 20% ☐ 20% - 50% ☐ 50% - 80% ☐ Mayor 80%						
Electrodomésticos para cocina	☐ 0 - 20% ☐ 20% - 50% ☐ 50% - 80% ☐ Mayor 80%						
Electrodomésticos para el frio (refrigeración, etc)	☐ 0 - 20% ☐ 20% - 50% ☐ 50% - 80% ☐ Mayor 80%						
Electrodomésticos para calor (plancha, secadores, etc)	☐ 0 - 20% ☐ 20% - 50% ☐ 50% - 80% ☐ Mayor 80%						
Electrodomésticos para ropa (Lavadora y Secadora)	☐ 0 - 20% ☐ 20% - 50% ☐ 50% - 80% ☐ Mayor 80%						
Electrodomésticos para aseo (Ducha y Calentador eléctrico)	☐ 0 - 20% ☐ 20% - 50% ☐ 50% - 80% ☐ Mayor 80%						
Otros electrodomésticos	☐ 0 - 20% ☐ 20% - 50% ☐ 50% - 80% ☐ Mayor 80%						

Sobre comportamiento energético en la residencia

17. ¿Usted modificaría sus hábitos de consumo de energía eléctrica si le ofrecen precios variantes y más económicos a diferentes horas del día?

Si No No sabe / No responde

18. ¿Cuándo usted está en su residencia y no hace uso de sus electrodomésticos estan desenchufados?

Si No No sabe / No responde

19. ¿Lleva a cabo algún tipo de iniciativas propias de ahorro de energía eléctrica?

Si	No	No sabe / No responde
20. ¿Ha participado en alguna iniciativa comunitaria sobre ahorro de energía eléctrica?		
Si	No	No sabe / No responde
21. ¿Para ahorra energía estaría dispuesto a emplear fuentes de energía renovable así la inversión sea alta?		
Si	No	No sabe / No responde
22. Cuál es su motivación principal para ahorrar energía eléctrica en su residencia?		
Precio	Contribuir con el medio ambiente	Otro Cual?
C. PRECIOS DEL SERVICIO DE ENERGÍA ELÉCTRICA		
23. ¿Le gustaría conocer la tarifa de energía eléctrica en tiempo real y pagar en función de ella?		
Si	No	No sabe / No responde
24. ¿Si le ofrecen subsidios o devolución de impuestos por el empleo de algún tipo de energía renovable, estaría dispuesto a emplearla en su residencia?		
Si	No	No sabe / No responde
25. ¿Estaría dispuesto a suscribir un contrato en donde le ofrezcan incentivos o sanciones por el uso de la energía eléctrica (bien o mal)?		
Si	No	No sabe / No responde
26. ¿Si emplea un sistema inteligente en su residencia para ahorrar energía, cuanto estaría dispuesto a invertir?		
Menos de $100.000	Entre $100.000 y $1.000.000	Más de $1.000.000 / No sabe / No responde
27. ¿Aceptaría algún instrumento financiero por emplear un sistema inteligente residencial para ahorrar energía?		
Si	No	No sabe / No responde
D. RELACIÓN CON USUARIO Y PROVEEDOR DEL SERVICIO		
28. ¿Usted confía en la información suministrada de consumos de su proveedor del servicio energético?		
Si	No	No sabe / No responde
29. ¿Le gustaría que su proveedor de servicio energético le suministrara información del comportamiento dinámico del mercado en tiempo real?		
Si	No	No sabe / No responde
30. ¿Su proveedor de servicio de energía eléctrica realiza estrategias de mercadeo para flexibilizar los precios de la energía?		
Si	No	No sabe / No responde
31. ¿La información suministrada por su proveedor de energía es completa y entendible en la factura?		
Si	No	No sabe / No responde
32. ¿Usted considera que ahorraría más energía si conoce la comparación de consumos a diario?		
Si	No	No sabe / No responde
33. ¿Estaría dispuesto a suscribir un contrato de suministro de energía sin interrupciones con la ayuda de fuentes renovables de energía?		
Si	No	No sabe / No responde
34. ¿Estaría dispuesto a suscribir un contrato de suministro de energía basado en los precios dinámicos?		
Si	No	No sabe / No responde
E. OTROS ELEMENTOS		
35. ¿Conoce la ley 1715 la cual regula la integración de energías renovables no convencionales al sistema energético nacional?		
Si	No	No sabe / No responde
36. ¿Le gustaría tener autonomía en la generación de la energía que consume con fuentes renovables?		
Si	No	No sabe / No responde
37. ¿Usted sabe de las implicaciones que trae el mal uso de la energía eléctrica en su residencia?		
Si	No	No sabe / No responde
38. ¿Está dispuesto a sacrificar su confort por ahorrar energía eléctrica en su hogar?		
Si	No	No sabe / No responde

APENDICE 2. PLANTILLA SEGUNDA ENCUESTA

Dispositivos eléctricos en los hogares

Esta encuesta es de carácter ACADÉMICA y ANÓNIMA, enfocada a obtener datos relacionados con los hábitos de consumo de energía eléctrica en el sector residencial, se consideraran cinco temas de análisis. POR FAVOR, PARA CONTESTAR LA ENCUESTA, LEA CUIDADOSAMENTE CADA PREGUNTA señalando la opción en el lugar donde se adecue más a su situación. Muchas gracias por la colaboración.

1. Marque la cantidad total de dispositivos que posee aproximadamente en su residencia.
Señale cuantos dispositivos, según la clasificación posee en su residencia. (En el caso que no tenga ningún dispositivo de esta tecnología seleccione la casilla cero dispositivos)

1.1. Iluminación (Bombillos)

	0	1	2	3	4	5	6	7-8	9-10	11-12	13-14	15-16	17-18	Más 18
Incandescentes (60W)														
Incandescentes (100W)														
Fluorescente compacta (ahorradores)														
LED														
Halógena														

1.2. Televisión

Televisor CTR o de tubo *

	0	1	2	3	4	5	6	Más de 7
21 pulgadas								
29 pulgadas								

Televisores LCD *

	0	1	2	3	4	5	6	Más de 7
20 pulgadas								
32 pulgadas								
42 pulgadas								
48 pulgadas								
Otro								

Televisores con tecnología LED *

	0	1	2	3	4	5	6	Más de 7
20 pulgadas								
32 pulgadas								
42 pulgadas								
48 pulgadas								
Otro								

1.3. Teatro en casa

	0	1	2	3	4	5	6	Más de 7
21 canales (2 bocinas y uno para bajos)								
2.1 canales (5 bocinas y uno para bajos)								
DVD								

1.4. Equipo de sonido

	0	1	2	3	4	5	6	Más de 7
Mini componente								
Equipo de sonido portátil o grabadora								
Equipo de sonido (grande)								

1.5. Computadores

	0	1	2	3	4	5	6	Más de 7
Computador de escritorio								
Computador portátil								

1.6. Estufa eléctrica

	0	1	2	3	4	5	6	Más de 7
1 puesto								
2 puestos								

1.7. Nevera

¿ Posee tecnología Frost o No-Frost ? *

La tecnología frost o de escarcha son aquellas tienen acumulación de hielo en el congelador, el proceso de limpieza debe hacerse manualmente y periódicamente para evitar la acumulación de hielo. Y la tecnología No-frost o sin escarcha no requiere descongelamiento manual pero sí una limpieza ocasional.

Dimensiones *

	0	1	2	3	4	Más de 5
2 a 7 pies cúbicos						
8 a 9 pies cúbicos						
10 a 12 pies cúbicos						
Nevecon						

1.8. Lavadora

Capacidad de carga *

	0	1	2	3	4	Más de 5
18 -20 Lb (10Kg)						
22 a 24 Lb (12Kg)						
25 a 28 Lb (14Kg)						
30 -36 Lb (18Kg)						
Mas de 39 Lb (18Kg)						

1.9. Secadora Eléctrica

Capacidad de carga *

	0	1	2	3	4	Más de 5
7 Kg (14Lb)						
8 Kg (16Lb)						
11 Kg (22Lb)						
Más de 12 Kg (24Lb)						

1.10. LavaSecadora

Capacidad de carga en lavado solamente *

	0	1	2	3	4	Más de 5
7 a 10 Kg (20Lb)						
11 a 12 Kg (24Lb)						
13 a 14 Kg (28Lb)						
15 a 18 Kg (36Lb)						
Más de 18 Kg (36Lb)						

1.11. Otros electrodomésticos

	0	1	2	3	4	5	6	Más de 7
Licuadora								
Horno eléctrico								
Horno microondas								
Plancha ropa								
Plancha cabello								
Secador Cabello								
Ducha eléctrica								
Calentador eléctrico								

APENDICE 3. GRÁFICAS RESULTADOS DE ENCUESTAS

PRIMERA ENCUESTA

FACTORES DEMOGRAFICOS BASICOS

Figura A.3.1. Rango edad y Nivel educación

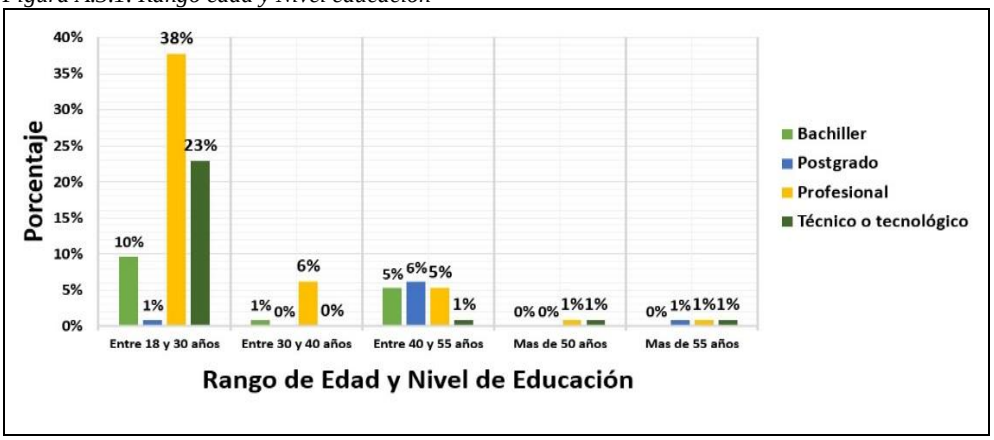


Figura A.3.2. Número de Personas y Área de la Residencia

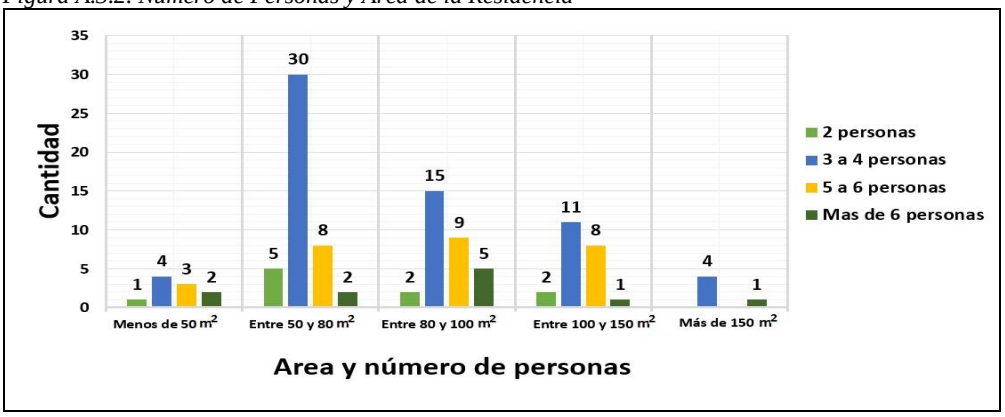
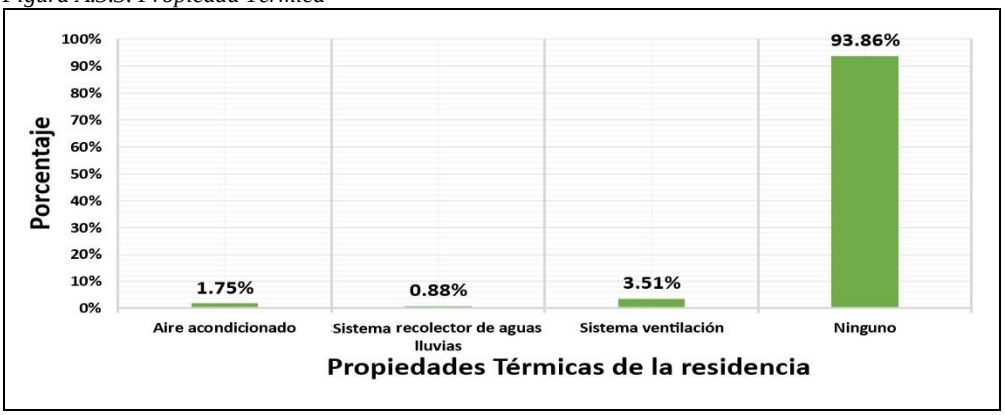


Figura A.3.3. Propiedad Térmica



HABITOS DE CONSUMO - CONOCIMIENTO

Figura A.3.4. Nivel Conocimiento Energía Eléctrica

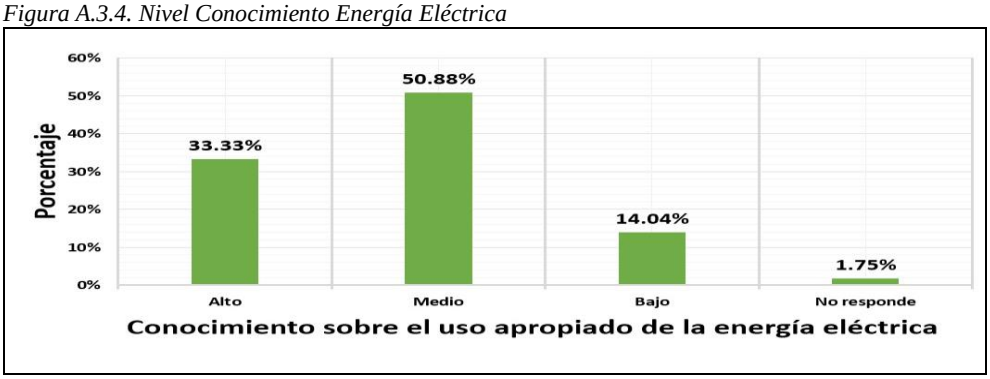


Figura A.3.5. Conocimiento del Termino Eficiencia Energética

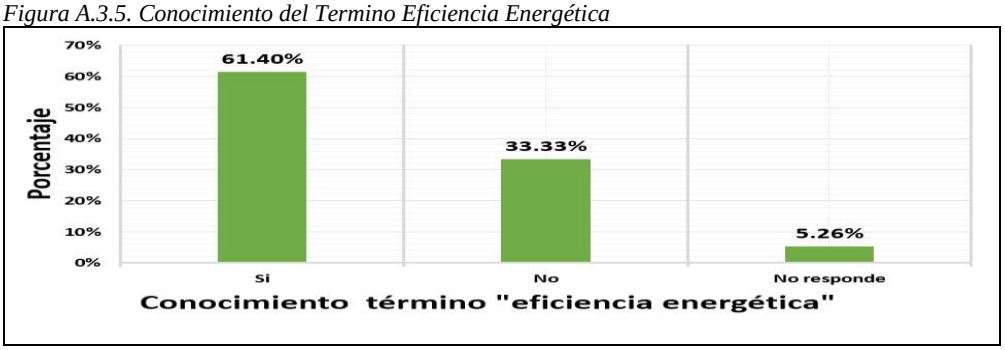


Figura A.3.6. Conocimiento del Termino "Hora Pico y Hora Plana"

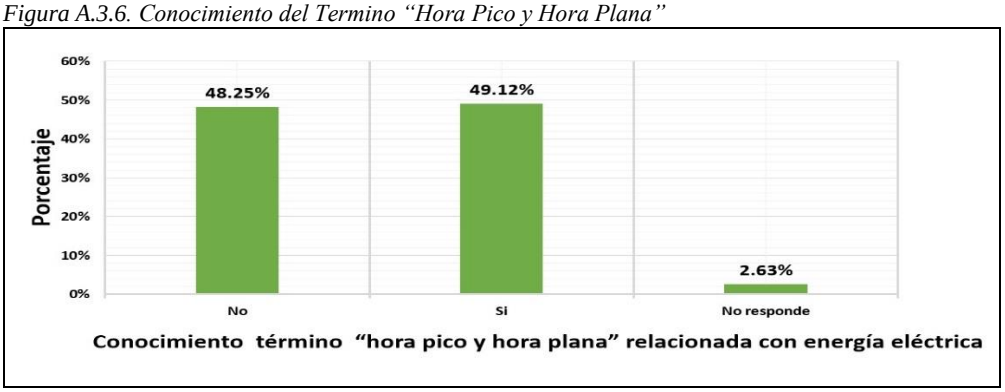


Figura A.3.7. Conocimiento Sobre el Concepto Agente "Agregador"

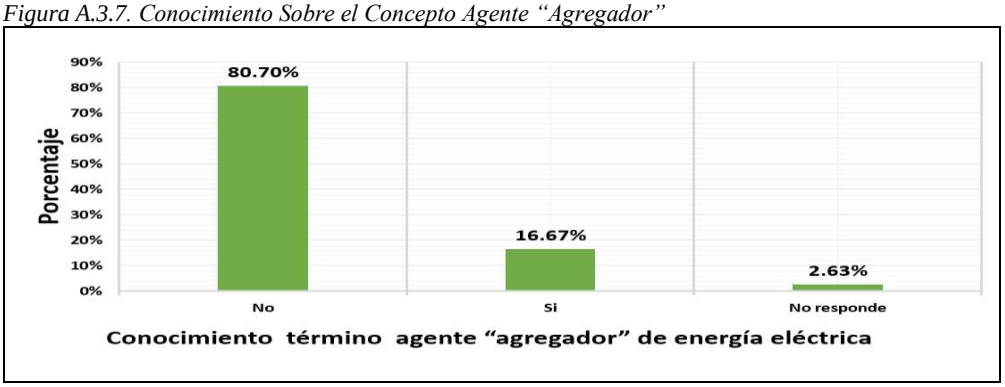
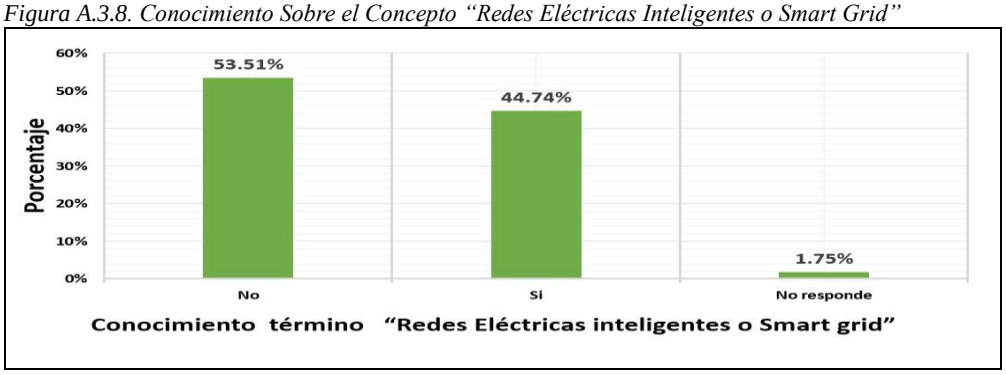


Figura A.3.8. Conocimiento Sobre el Concepto "Redes Eléctricas Inteligentes o Smart Grid"



HABITOS DE CONSUMO – CONDUCTAS

1. Cantidad de Uso por periodo

Figura A.3.9. Iluminación

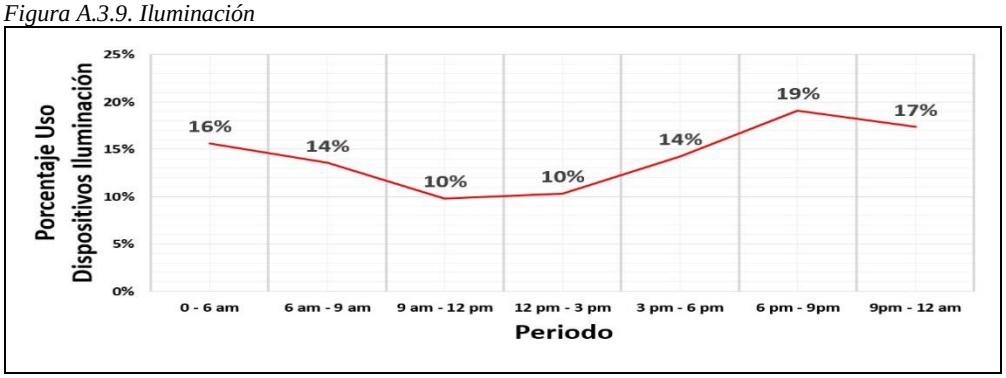


Figura A3.10. Cocina

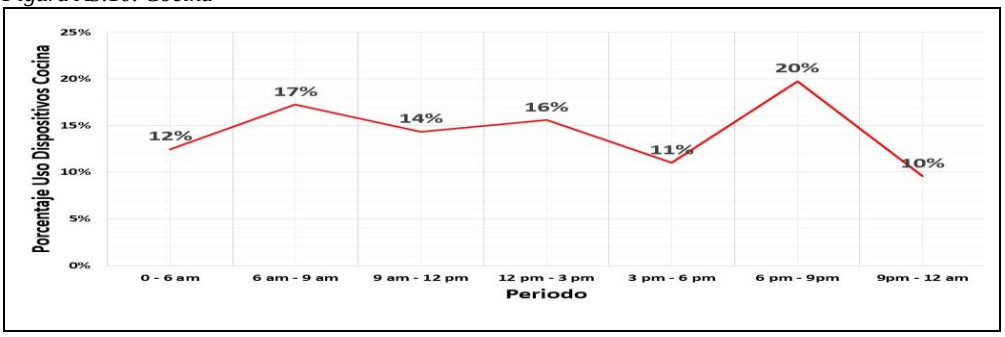


Figura A.3.11. Ducha

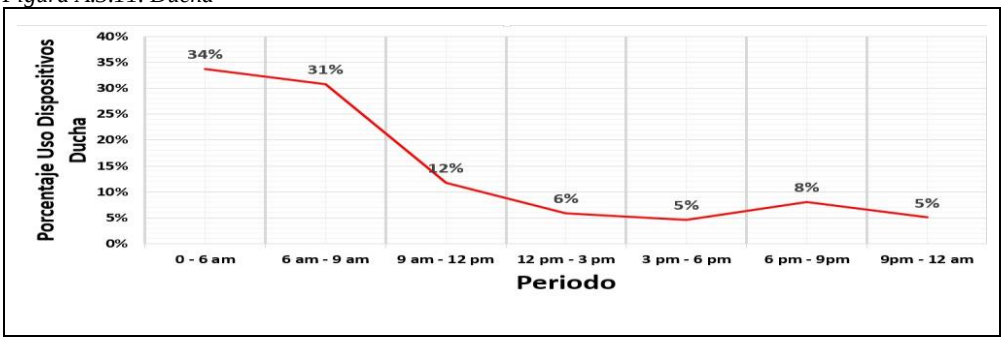


Figura A.3.12. Entretenimiento

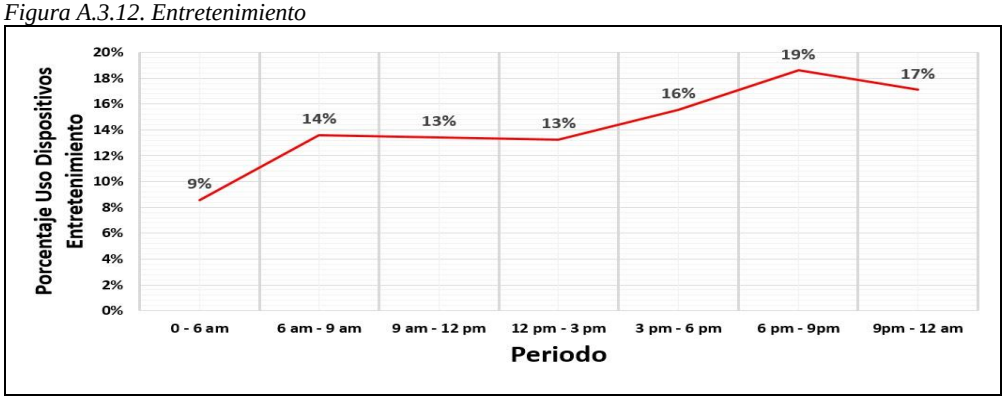


Figura A.3.13.Calor

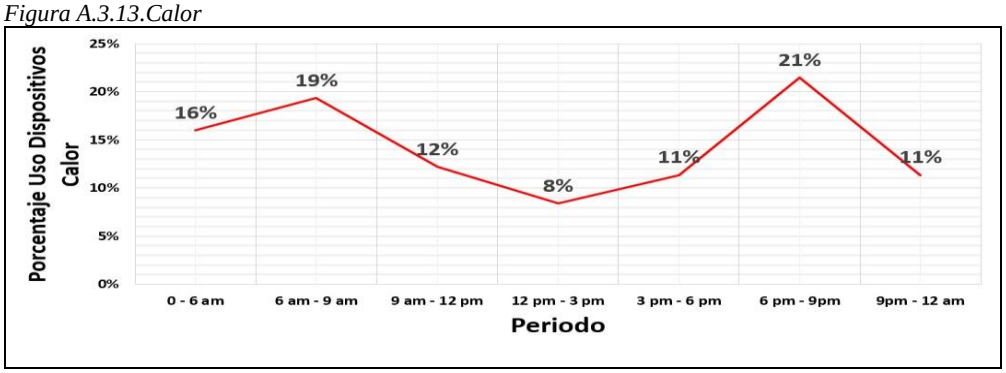


Figura A.3.14. Lavado Ropa

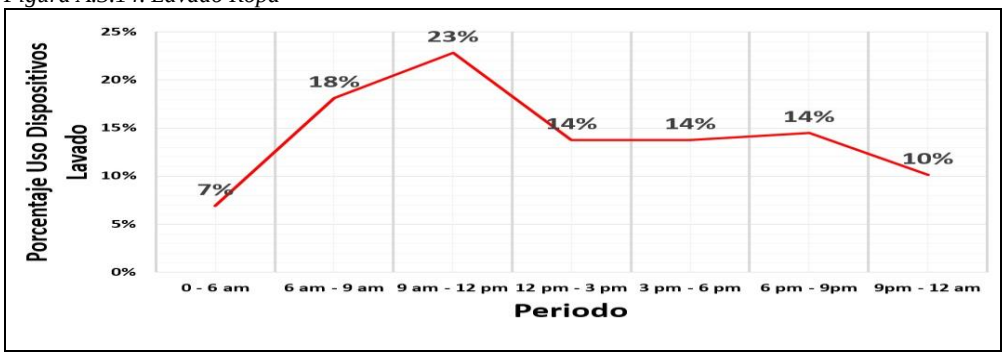
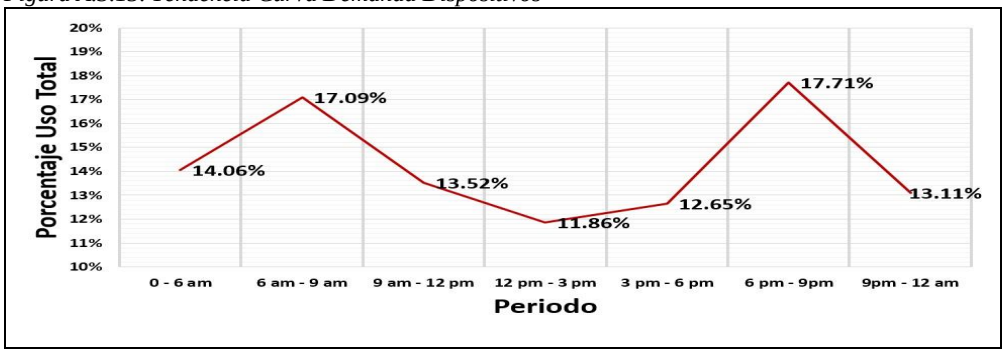


Figura A.3.15. Tendencia Curva Demanda Dispositivos



HABITOS DE CONSUMO – COMPORTAMIENTO

Figura A.3.16. Modificaría sus de Hábitos de Consumo de Energía Eléctrica si le Ofrecen Precios Variantes y más Económicos a Diferentes Horas del Día

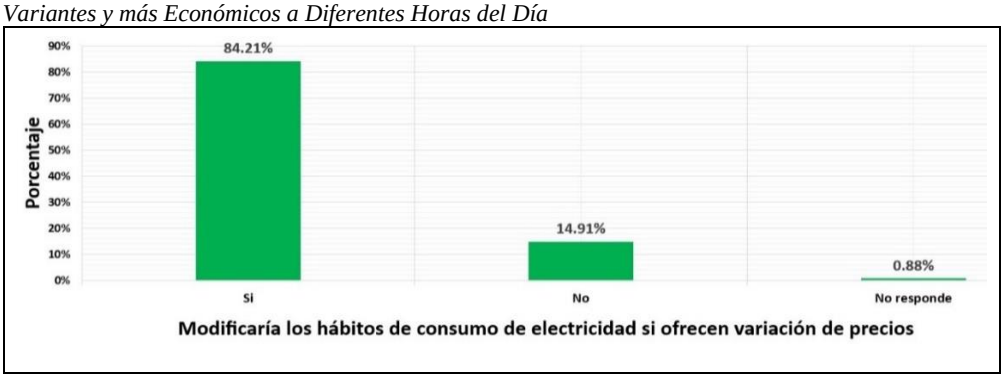


Figura A.3.17. Electrodomésticos Permanecen Desenchufados

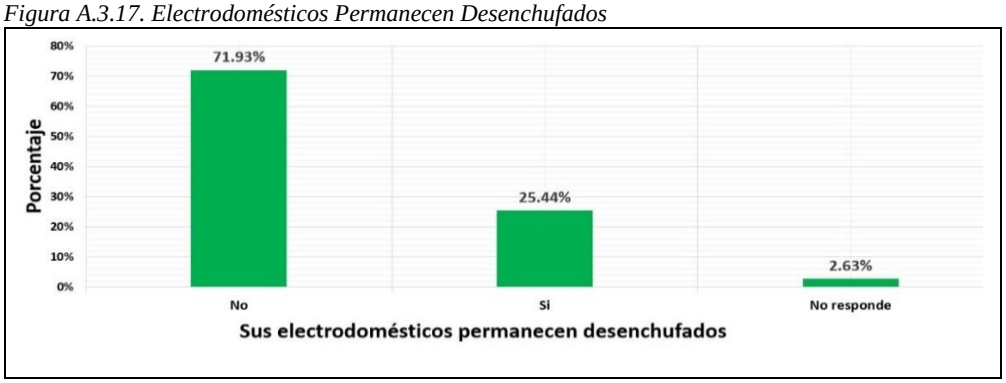


Figura A.3.18. Iniciativas Propias de Ahorro de Energía Eléctrica

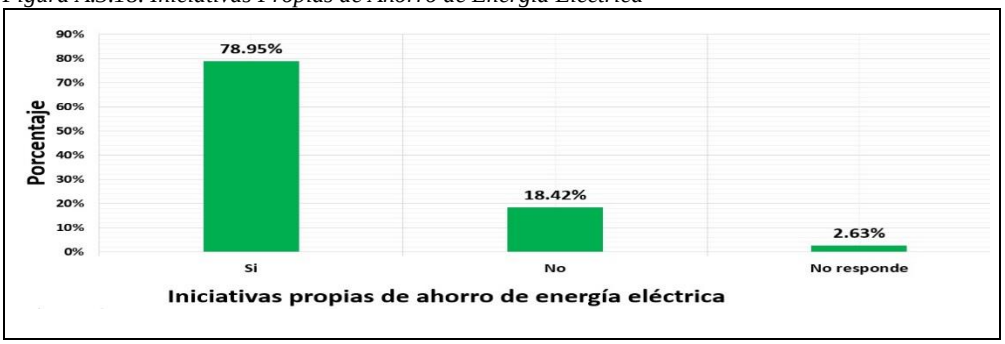


Figura A.3.19. Iniciativa Comunitaria Sobre Ahorro de Energía Eléctrica

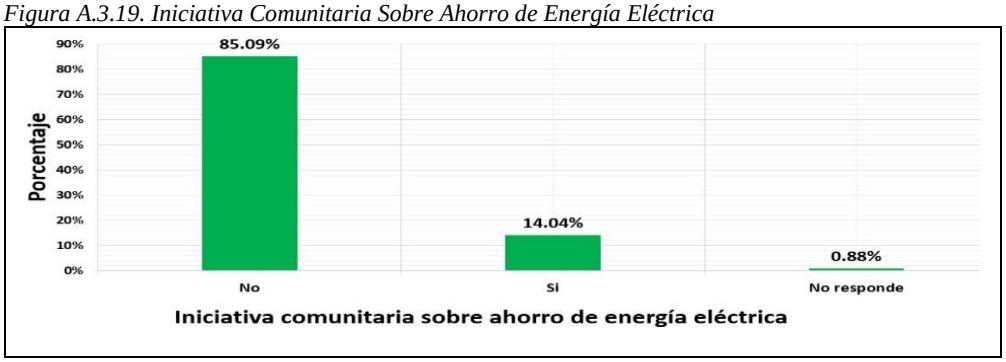


Figura A.3.20. Empleo de Fuentes de Energía Renovable así la Inversión Inicial sea Alta

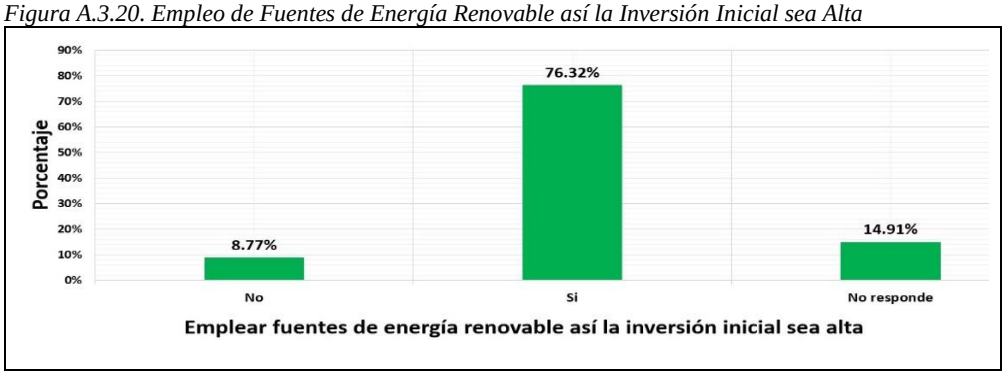


Figura A.3.21. Motivación Principal para Ahorrar Energía Eléctrica en su Residencia



Elementos Económicos

Figura A.3.22.Conocer la Tarifa de Energía Eléctrica en Tiempo Real

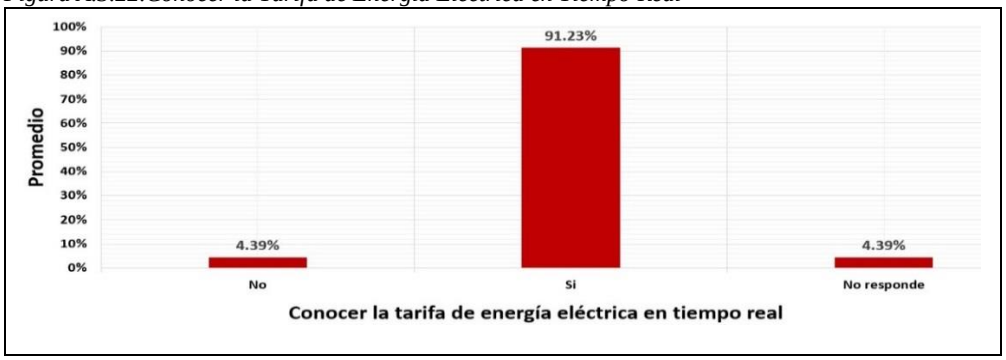


Figura A.3.23.Subsidios o Devolución de Impuestos por el Empleo de Energía Renovable

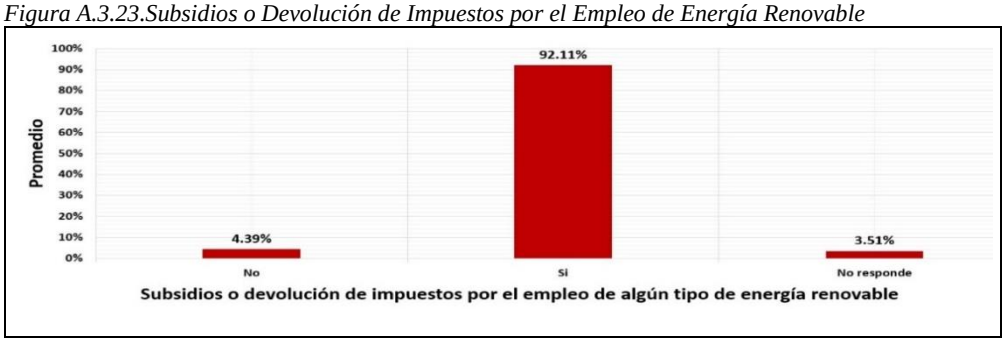


Figura A.3.24. Suscribir Contrato donde Ofrezcan Incentivos o Sanciones por Uso de Energía

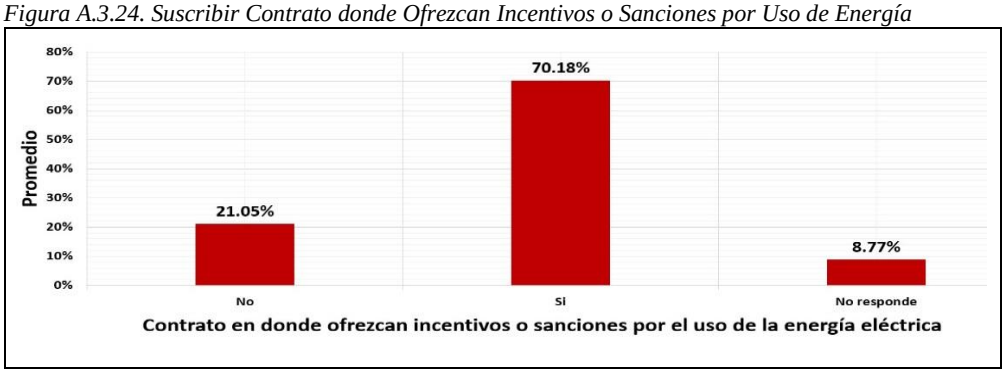


Figura A.3.25. Invertir en un Sistema Inteligente en su Residencia para Ahorrar Energía

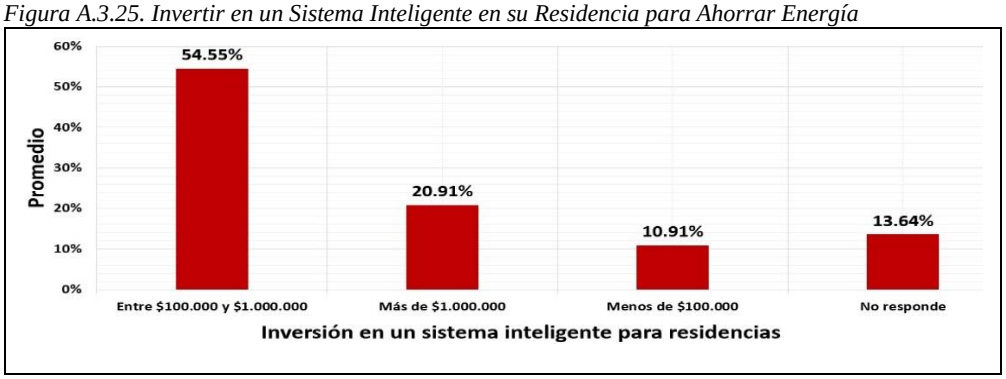
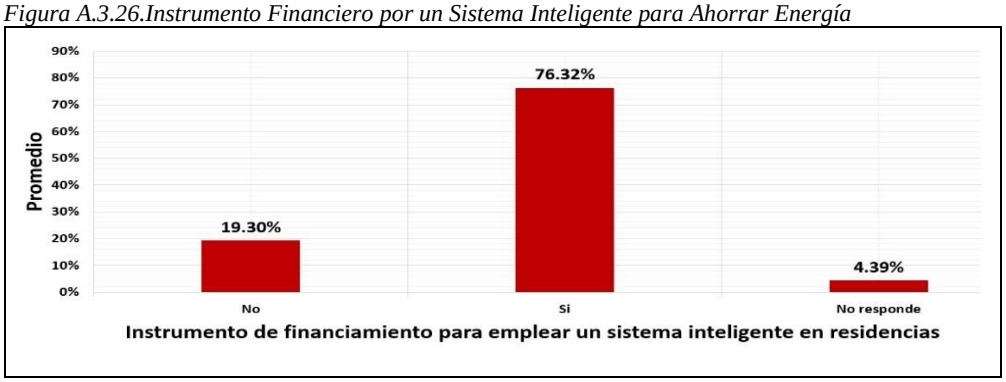


Figura A.3.26.Instrumento Financiero por un Sistema Inteligente para Ahorrar Energía



Relación Usuario Vs Proveedor Del Servicio

Figura A.3.27.Información del Comportamiento Dinámico del Mercado en Tiempo Real

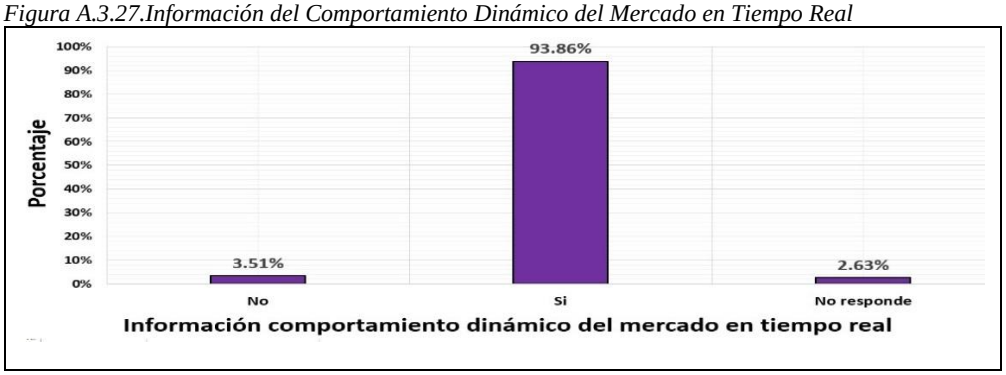


Figura A.3.28. Estrategias de Marketing para Flexibilizar los Precios de la Energía

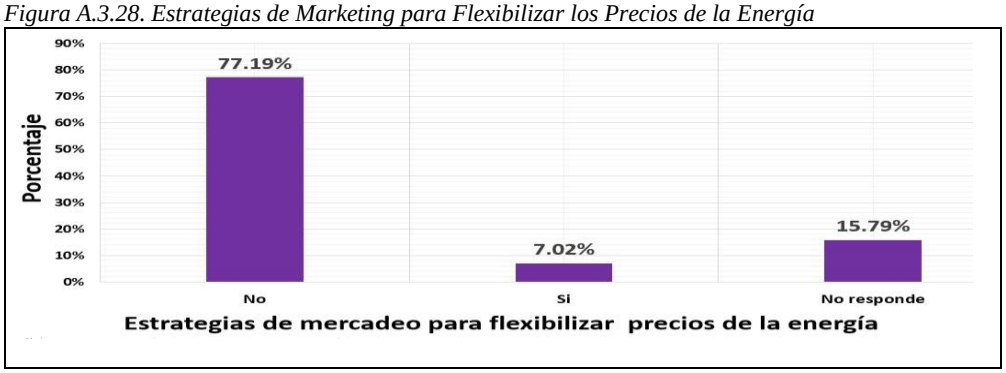


Figura A.3.29. Información Suministrada por el Proveedor de Servicio es Completa y Entendible en la Factura

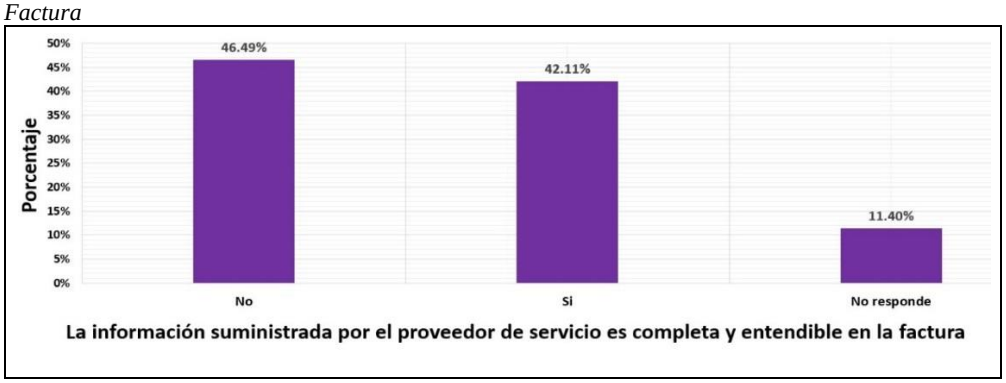


Figura A.3.30. Ahorraría más Energía si Conoce la Comparación de Consumos a Diario

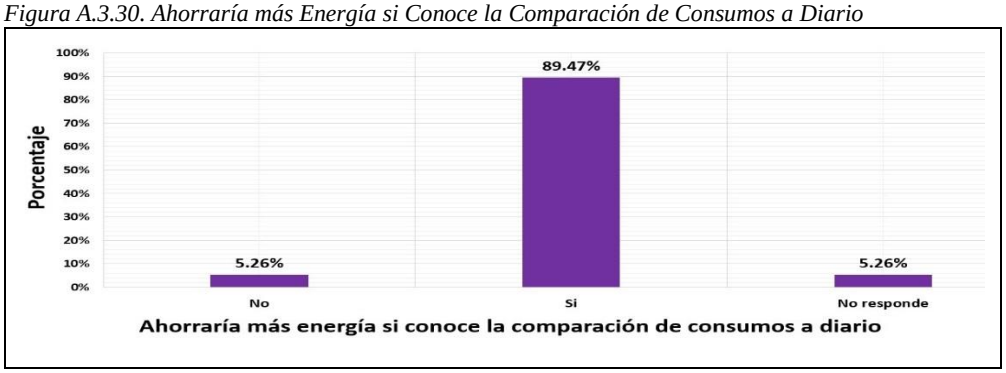


Figura A.3.31. Contrato de Suministro de Energía Sin Interrupciones con la Ayuda de Fuentes Renovables de Energía

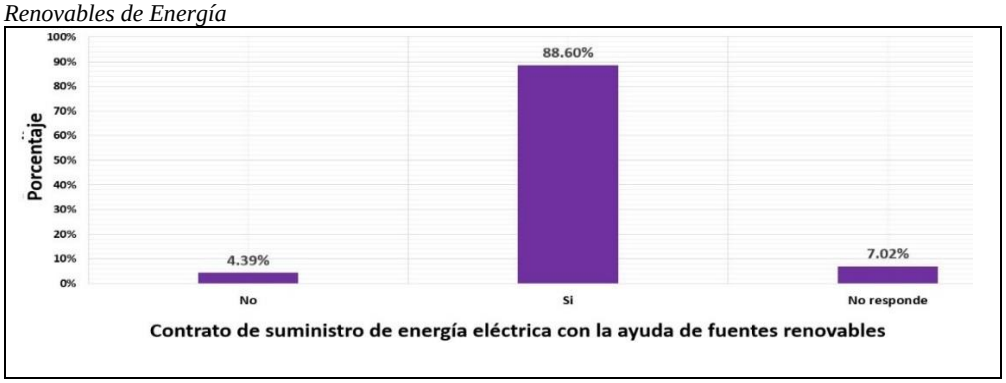
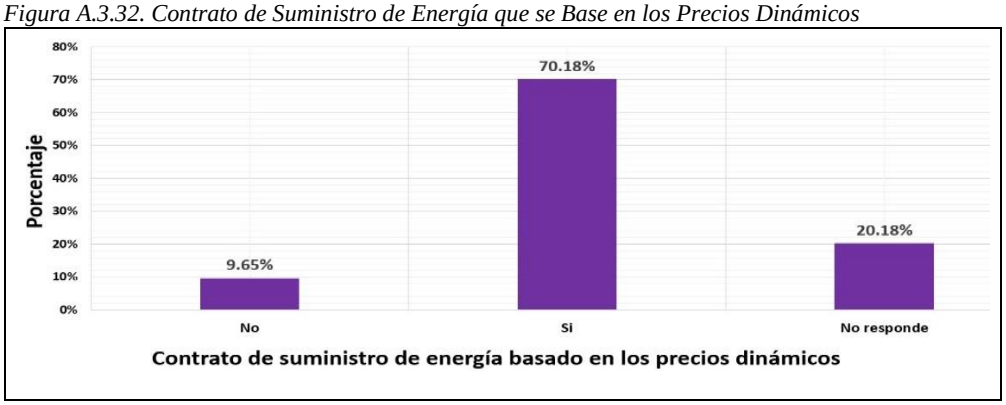


Figura A.3.32. Contrato de Suministro de Energía que se Base en los Precios Dinámicos



Otros Elementos

Figura A.3.33. Conoce La Ley 1715

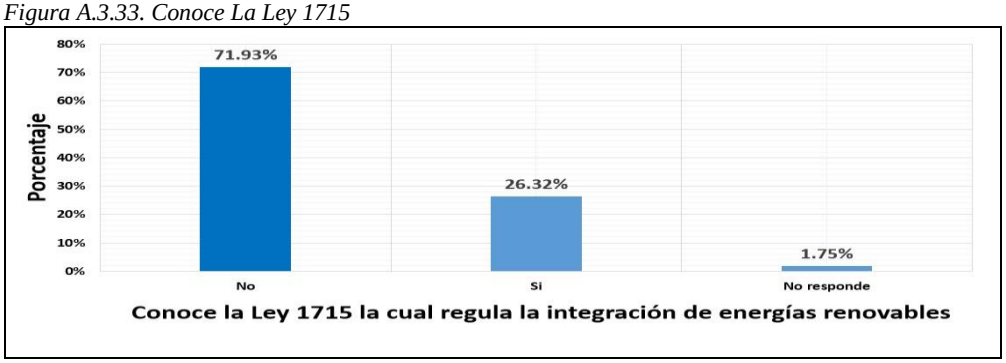


Figura A.3.34. Autonomía en Generación de Energía que Consume con Fuentes Renovables

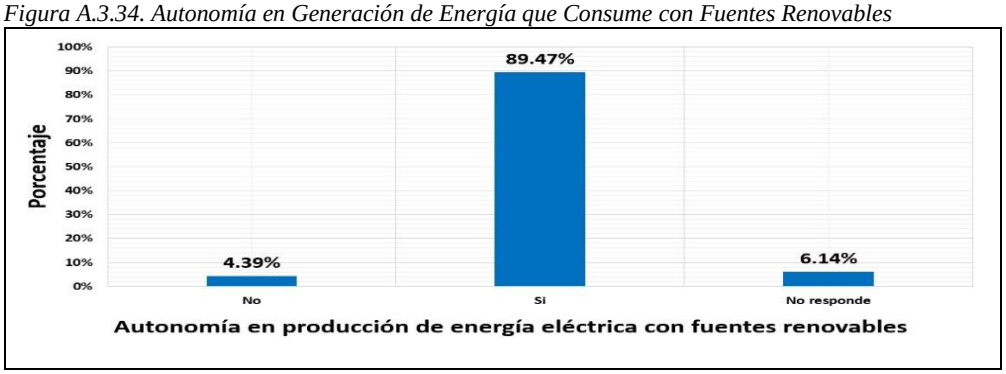


Figura A.3.35. Implicaciones del Mal Uso de la Energía Eléctrica en su Residencia

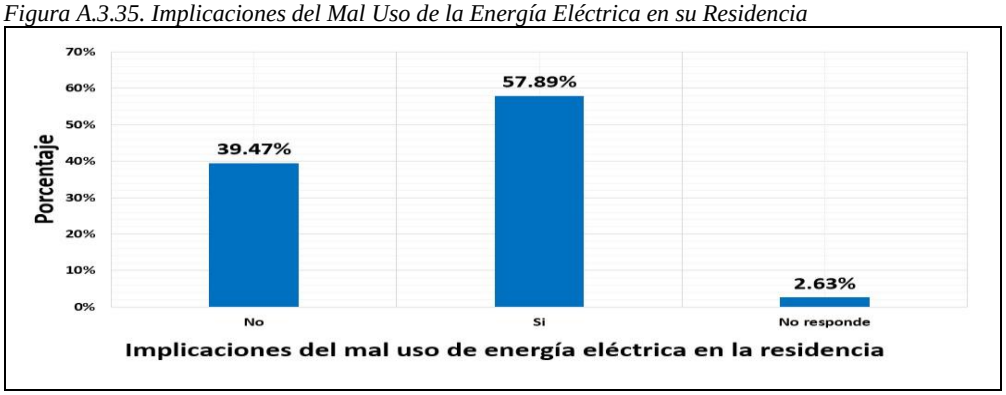
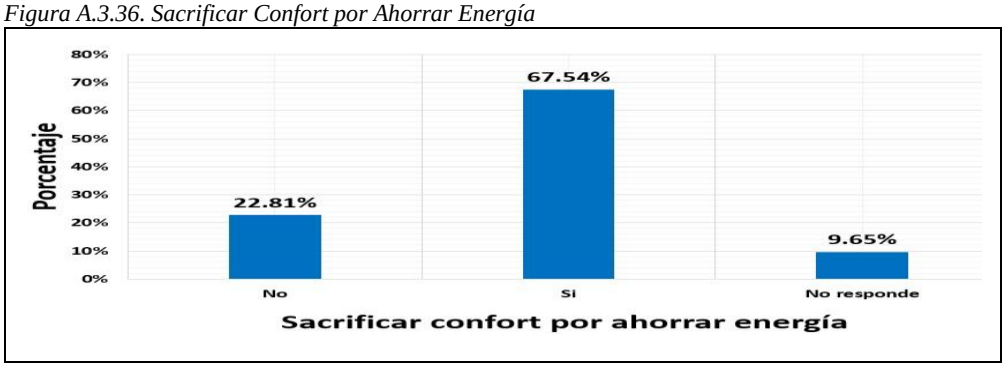


Figura A.3.36. Sacrificar Confort por Ahorrar Energía



SEGUNDA ENCUESTA

Figura A.3.37. Tipos de bombillos más usados

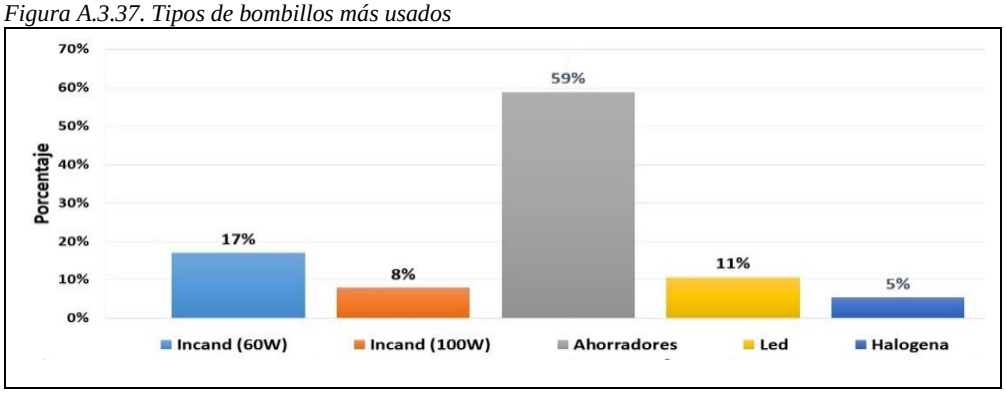


Figura A.3.38. Cantidad de Bombillos usados en las viviendas

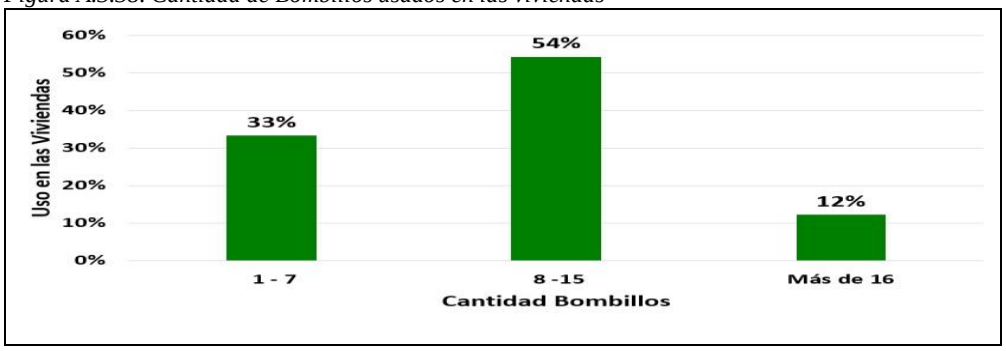


Figura A.3.39. Cantidad Bombillos ahorradores usados en las viviendas

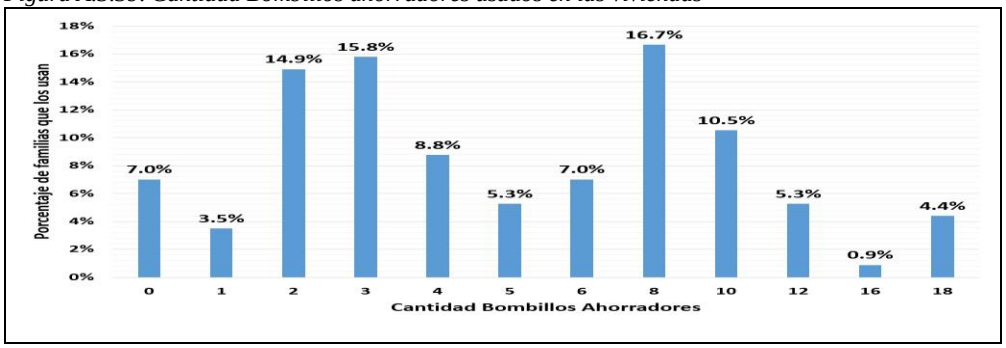


Figura A.3.40. Cantidad televisores

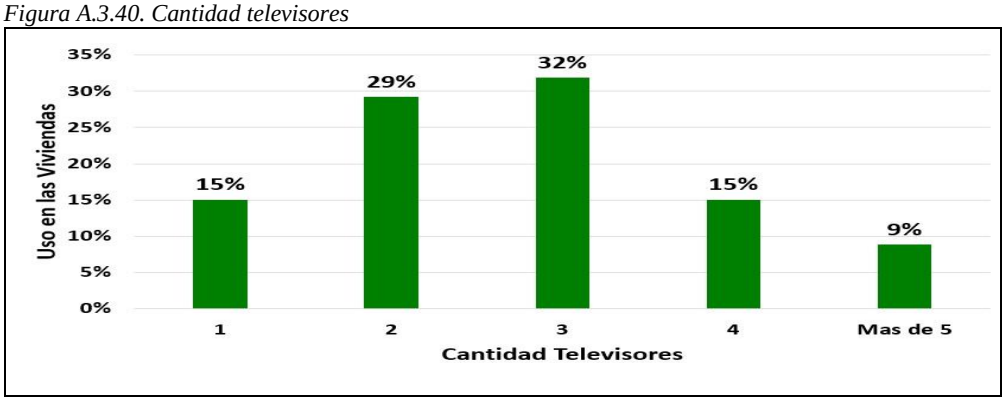


Figura A.3.41. Cantidad Equipos Sonido

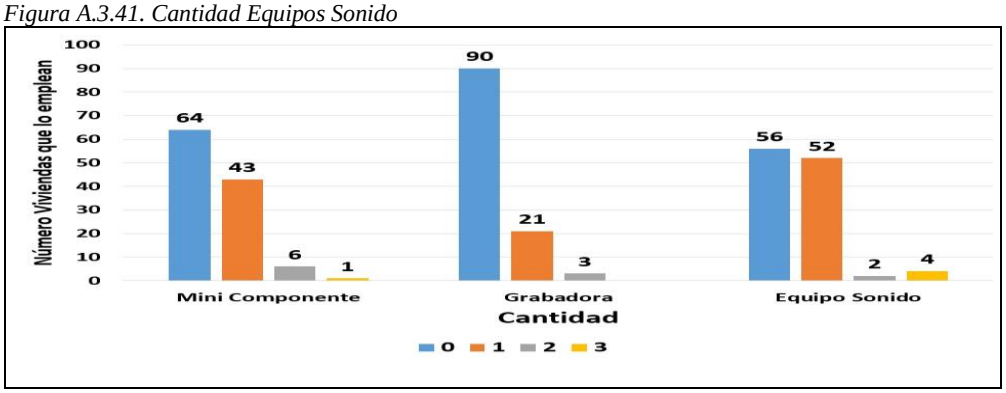


Figura A.3.42. Cantidad Computadores

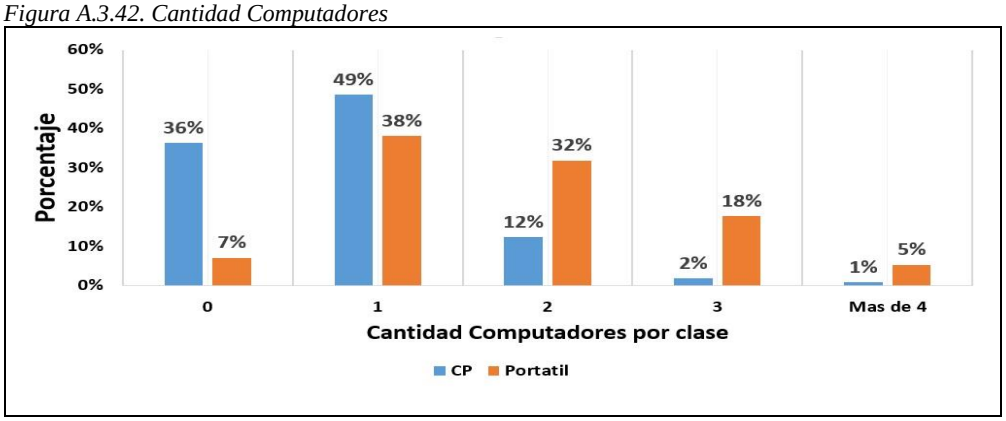


Figura A.3.43. Tipo Computadores

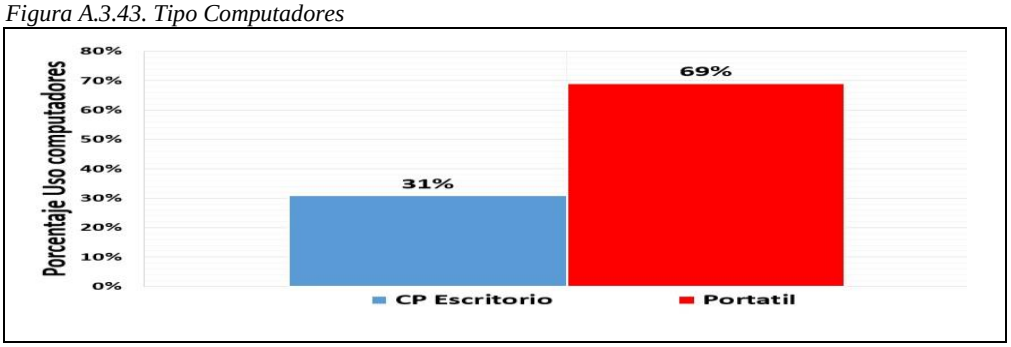


Figura A.3.44. Uso estufas eléctricas

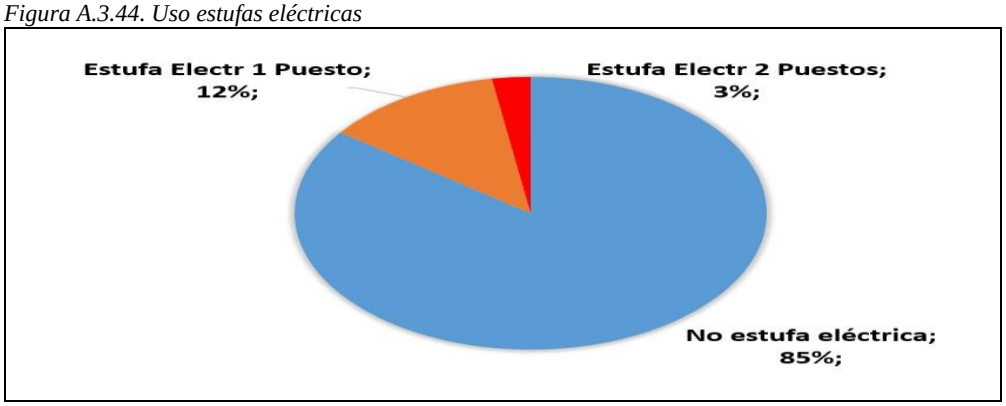


Figura A.3.45. Uso tecnología Frost en Neveras

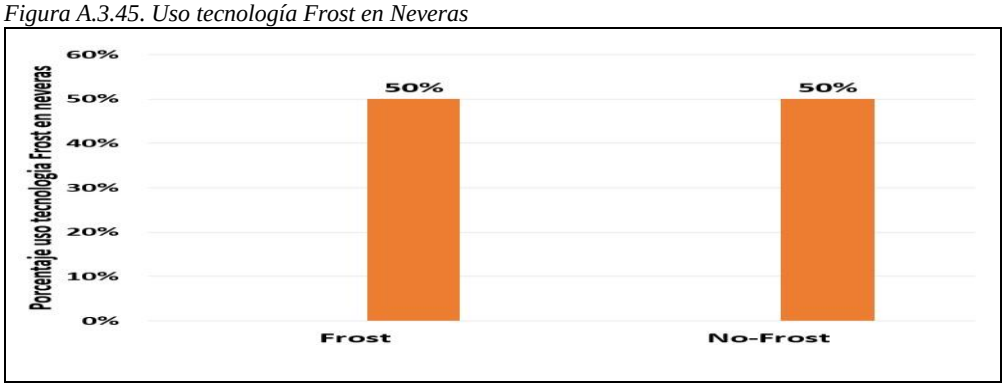


Figura A.3.46. Cantidad Neveras

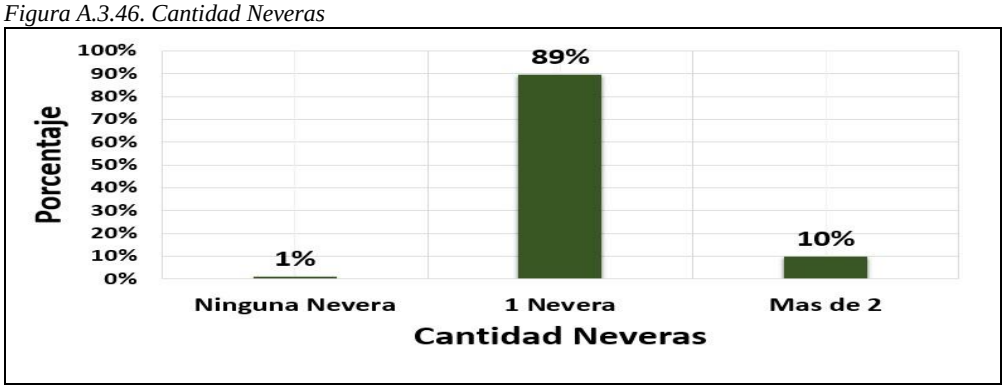


Figura A.3.47. Tamaño Neveras

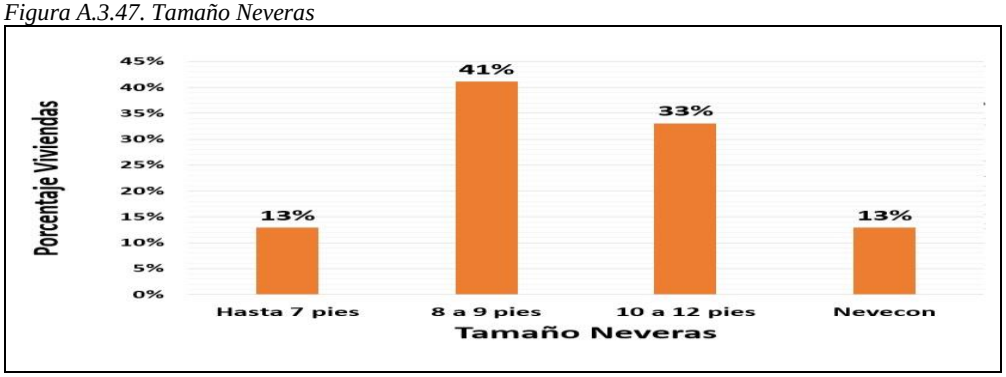


Figura A.3.48. Cantidad Lavadoras

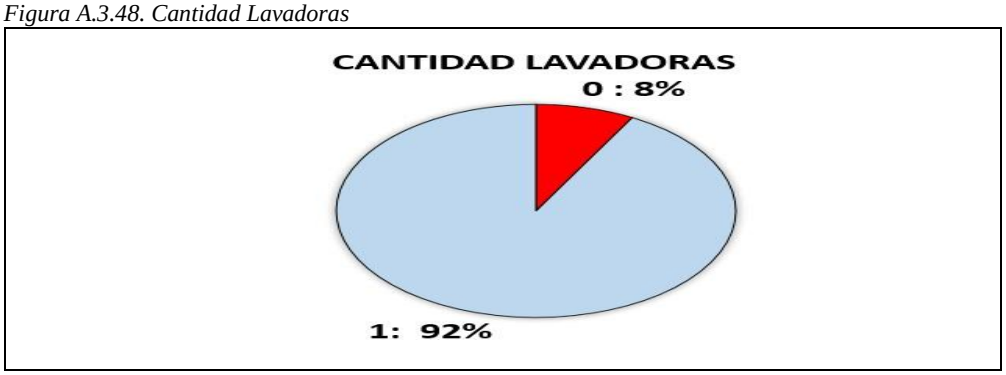


Figura A.3.49. Posee secadora Ropas

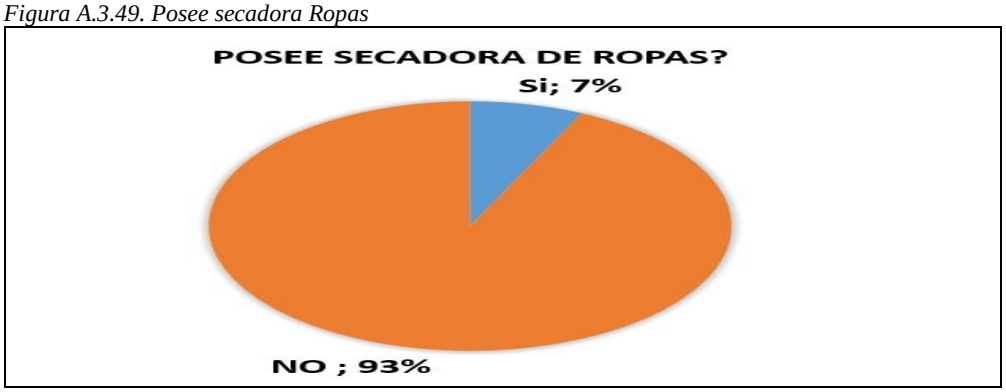


Figura A.3.50. Cantidad Licuadoras

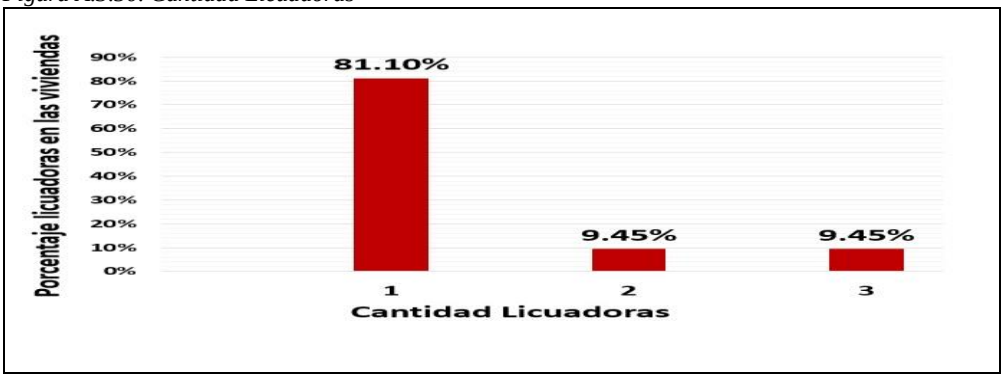


Figura A.3.51. Cantidad horno eléctrico

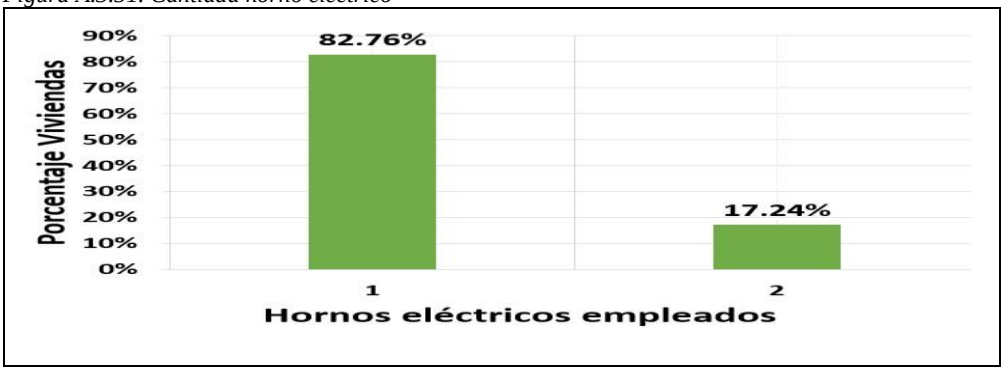


Figura A.3.52. Cantidad Hornos Microondas

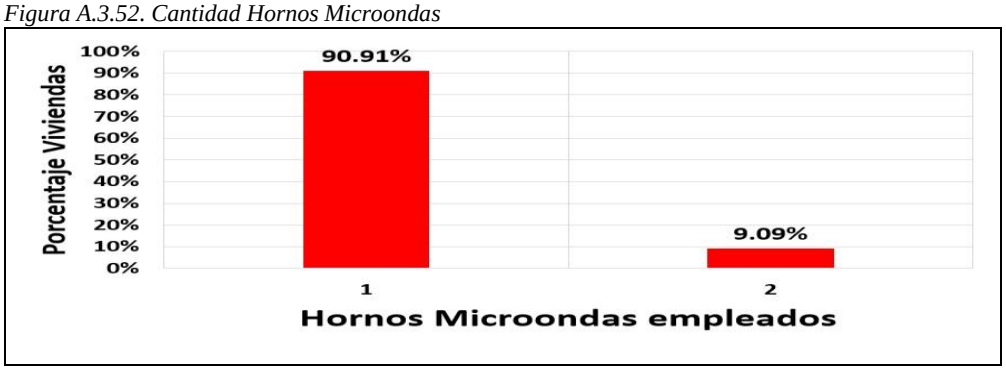


Figura A.3.53. Cantidad Planchas de ropa

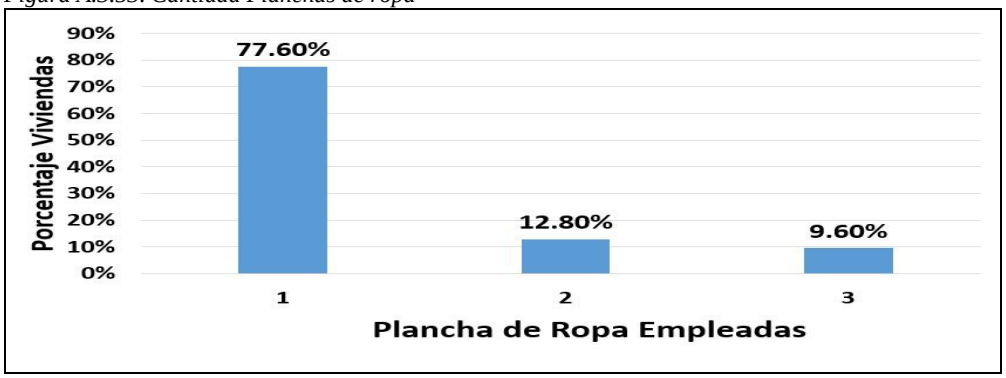


Figura A.3.54. Cantidad electrodomésticos Baño

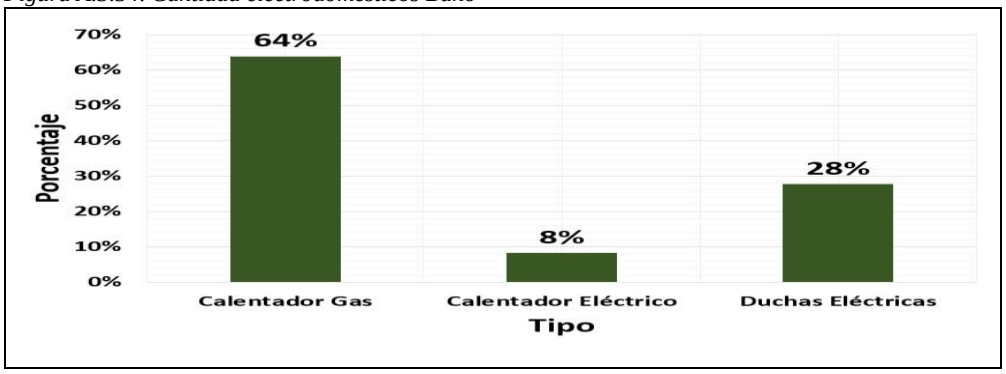
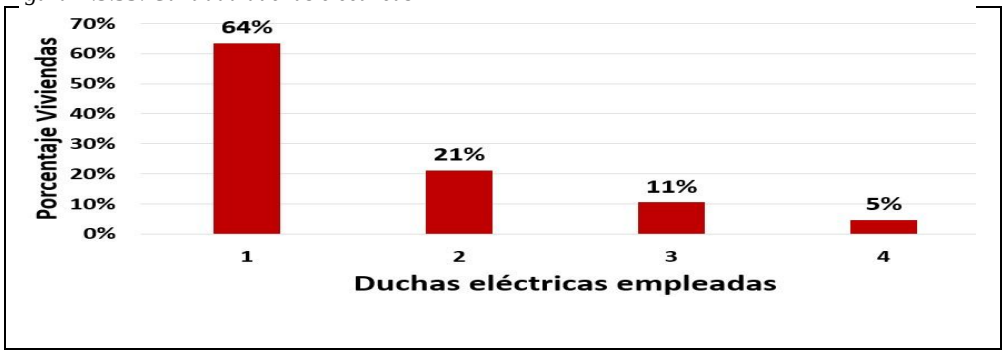


Figura A.3.55. Cantidad duchas eléctricas



APENDICE 4. DISEÑO DEL MODELO ESTOCÁSTICO

Se estipularon 8 grupos de electrodomésticos principales que se dividieron en subgrupos y se les asignó el respectivo consumo promedio que se obtuvo de los siguientes referentes (Electrocalculator, 2016) y (Instituto Nicaraguense de energía, 2016) (ver Tabla A.4.1):

Tabla A.4.1 Consumo promedio principales electrodomésticos

Grupo	Subgrupo - electrodomésticos	Consumo Aproximado
1.Alumbrado	-Incandescentes	- 75 W
	-Fluorescente compacto	- 20 W
	-Led	- 12 W
	-Halógenos	- 60 W
2.Neveras	-7 pies	- 53. 37 W
	-9 pies	- 56.18 W
	-12pies	- 73.92 W
	-Nevecon	- 66.74 W
3.Entretenimiento	-Computador Mesa.	- 80 W
	-Portátil	- 65 W
	-Televisor	- 130 W
	- Equipo sonido	- 140 W
	-Reproductor	- 200 W
	-Multifuncional	- 150 W
4.Cocina	-Cafetera	- 600 W
	-Estufa (puestos)	- 1400 W
	-Licuadora	- 350 W
	-Microondas	- 1200 W
	-Sanduchera	- 800 W
	-Tostadora	- 900 W
5.Calor	- Horno eléctrico	- 950 W
	-Secador cabello	- 825 W
	-Plancha ropa	- 800 W
	-Calefactor	- 1500
	-Plancha cabello	- 800 W
6.Ropa	- Lavadora	- 950 W
	- Secadora	- 270 W
7.Baño	-Ducha eléctrica	- 1500 W
	-Calentador Eléctrico	- 3000 W
	-Calentador Gas	- 20 W
8.Varios	-Aspiradora	- 1200 W
	-Enrutador	- 30 W
	-Brilladora	- 500 W
	-Máquina coser	- 125 W
	-Despertador	- 5 W
	-Miscelánea	- 30 W

A continuación se explica el diseño de las variables comprendidas en cada uno de los grupos de electrodomésticos involucrados en el modelo estocástico propuesto que contiene la simulación:

1. **Grupo Nevera**

- Cantidad Nevera: Número de neveras en cada vivienda, la cantidad máxima de neveras que se estableció fue una (1) ya que de acuerdo con los datos de la encuesta el 99% de los encuestados poseen al menos una nevera.

- Consumo Día Nevera seleccionada: Se tomó como referencia los siguientes cuatro tipos de neveras: 7 pies, 9 pies, 12 pies y Nevecon. Se selecciona una nevera en cada simulación, teniendo en cuenta las probabilidades del tipo de nevera de acuerdo a los datos arrojados en la encuesta.

- Porcentaje de tipo de nevera: Para determinar el consumo se investigó en el mercado sus respectivas fichas técnicas y el promedio de consumo de cada uno de los tipos de nevera, como se muestra en la Tabla A.4.2:

Tabla A.4.2 Consumo diferentes tipos de neveras

	Consumo kWh/año	Consumo W/día
Nevera 7 pies	461.11	53.37
Nevera 9 pies	485.45	56.18
Nevera 12 pies	638.7	73.92
Nevecon	576.7	66.74

- Tiempo de uso base Nevera (TUB_N): Teniendo en cuenta que este electrodoméstico permanece conectado las veinticuatro (24) horas del día se trabajó con este parámetro de tiempo.

- Intervalo Aleatoriedad Nevera (IA_N): Este es el porcentaje de referencia del tiempo que está prendida o apagada la nevera. Los valores para los intervalos se trabajaron por horas de uso considerando que aproximadamente en una hora esta 20min (0.33 horas) prendida y 40 min (0.66) apagada y de acuerdo con lo establecido en la curva de demanda base se le adicionó al porcentaje en determinados periodos de tiempo ya que hay mayor probabilidad de apertura de puerta y se considera que está prendida más tiempo hasta alcanzar la temperatura programada.

- Tiempo de Uso probable de la nevera (TUP_N): Es la variación en el tiempo de uso (encendido y apagado) de la nevera en cada hora del día. Su tiempo máximo se determinó con las variables tiempo de uso base nevera y el intervalo de Aleatoriedad de uso de la nevera:

- Factor de Operación Nevera (FO_N): Es un valor que contiene un porcentaje de operación que varía de acuerdo al periodo de la semana en que se empleen la nevera y el número de ocupantes de la vivienda. Este valor está determinado por un porcentaje mayor de empleo de acuerdo a la simulación que se realice, teniendo en cuenta el porcentaje de utilización que arrojo la encuesta como se muestra en la Tabla A.4.3:

Tabla A.4.3 Factor de operación de la nevera por periodo de tiempo y número de habitantes

Entre semana						
	Habitantes					
	1	2	3	4	5	6
1 periodo	0,15	0,18	0,23	0,29	0,39	0,55
2 periodo	0,20	0,24	0,30	0,39	0,53	0,74
3 periodo	0,18	0,22	0,27	0,35	0,47	0,66
4 periodo	0,15	0,18	0,23	0,29	0,39	0,55
5 periodo	0,22	0,26	0,33	0,43	0,58	0,81
6 periodo	0,15	0,18	0,23	0,29	0,39	0,55
Fin de semana						
	Habitantes					
	1	2	3	4	5	6
1 periodo	0,17	0,20	0,25	0,32	0,43	0,61
2 periodo	0,22	0,26	0,33	0,43	0,58	0,81
3 periodo	0,20	0,24	0,30	0,39	0,52	0,73
4 periodo	0,17	0,20	0,25	0,32	0,43	0,61
5 periodo	0,24	0,29	0,36	0,47	0,64	0,89
6 periodo	0,17	0,20	0,25	0,32	0,43	0,61

2. Grupos Entretenimiento, Cocina, Calor y Varios

Se explicará los grupos de entretenimiento, cocina, calor y varios en este apartado ya que el comportamiento que se llevó a cabo en las respectivas variables es similar.

- Escenario base Cantidad Entretenimiento (EBC_E): Se escogió seis electrodomésticos representativos que se emplean para entretenimiento (Computador mesa, computador portátil, televisor, equipo de sonido, reproductor y teatro en casa). Y se asignó el número de dispositivos de entretenimiento estimados para cada vivienda de estrato 4, que se tienen como base para el análisis, este valor fue sacado de las encuestas, el más representativo es la cantidad de televisores, se estableció en máximo 3, puesto que el 32% de los encuestados posee esa cantidad, de igual manera se estableció que le 31,86 tienen televisores de 21 pulgadas seguido por el 29% de 32 pulgadas.

- Escenario base cantidad electrodomésticos cocina (EBC_C): se seleccionaron seis (6) tipos de dispositivos de cocina más comunes (Cafetera, Estufa (puestos) eléctrica, licuadora, microondas, sanduchera y tostadora), la cantidad máxima promedio se determinó en uno (1) de acuerdo a los datos de la encuesta.

- Escenario base cantidad electrodomésticos calor ($EBCa_C$): se seleccionaron cinco (5) tipos de dispositivos de calor más comunes (Horno eléctrico, secador de cabello, plancha de ropa, calefactor aire, plancha de cabello), la cantidad máxima promedio se determinó en uno (1) de acuerdo a los datos de la encuesta.

- Escenario base cantidad electrodomésticos varios (EBC_V): se seleccionaron 6 tipos de electrodomésticos varios más comunes (Aspiradora, Enrutador, brilladora, Máquina coser, Despertador, Miscelánea), la cantidad máxima promedio de los cuatro primeros electrodomésticos se determinó en uno (1), la miscelánea son todos aquellos electrodomésticos que de alguna manera están conectados y tienen un consumo mínimo, a este tipo de electrodomésticos se le asignaron 7 en total.

- Variación Cantidad electrodomésticos de los grupos Entretenimiento, Cocina, Calor y Varios (VC_E): para cada experimento se establece una cantidad de electrodomésticos que varía sin exceder la cantidad base establecida para las viviendas de estrato 4. Los intervalos de aleatoriedad se simulan con números aleatorio (RC_B) diferentes entre 0 y 1 en cada periodo de tiempo siguiendo los algoritmos implementados por el Sistema PowerSim.

- Probabilidad de encendido de electrodomésticos por Periodo de Tiempo (PE_E) grupos Entretenimiento, Cocina, Calor y Varios: Esta variable maneja las probabilidades de encendido de cada uno de los electrodomésticos de cada grupo analizado, en los seis periodos del día, se maneja con una matriz 6x6 teniendo en cuenta la variación de la curva de demanda base obtenida se le establece un rango de posibilidad.

- Cantidad probable de electrodomésticos encendidos (CPE_E) grupos Entretenimiento, Cocina, Calor y Varios: Posibilidad de encendido de los electrodomésticos en cada uno de los periodos de tiempo que se genera con la probabilidad de encendido de manera aleatoria y la variación de la cantidad de electrodomésticos que se tienen en cada simulación.

- Tiempo de uso base de los electrodomésticos grupos Entretenimiento, Cocina, Calor y Varios en cada periodo de tiempo (TUB_E): este dato se proyectó de acuerdo a la encuesta y la curva de demanda sobre el uso de los electrodomésticos en cada periodo de tiempo y de estos valores se determinó el dato de cada hora, estableciendo valores fijos para proyectar la aleatoriedad de uso en cada simulación.

- Probabilidad Horas Uso grupos Entretenimiento, Cocina, Calor y Varios por Periodo de Tiempo (PHU_B): Esta variable maneja las probabilidades de encendido de cada uno de los electrodomésticos seleccionados, en cada uno de los periodos del día, se maneja con una matriz 6x6 teniendo en cuenta el porcentaje de uso promedio arrojado en la encuesta para entretenimiento, cocina y calor.

Con relación a los electrodomésticos del grupo varios, la probabilidad se manejó con la tendencia de la curva de consumo general.

- Tiempo uso probable electrodomésticos grupos Entretenimiento, Cocina, Calor y Varios (TP_E): Es la variación en el tiempo de uso (encendido) de cada electrodoméstico en los diferentes periodos de tiempo. Su tiempo máximo se determinó con la variable tiempo de uso base por periodo de tiempo y la probabilidad de uso de la siguiente manera:

- Factor de Operación Entretenimiento (FO_E): Es un valor que contiene un porcentaje de operación que varía de acuerdo al periodo de la semana en que se empleen los electrodomésticos de entretenimiento y el número de ocupantes de la vivienda. Este valor está determinado por un porcentaje mayor de empleo de acuerdo a la simulación que se realice, teniendo en cuenta el porcentaje de utilización que arrojo la encuesta (Ver Tabla A.4.4):

Tabla A.4.4 Factor de operación de entretenimiento por periodo de tiempo y número de habitantes

Entre semana						
	Habitantes					
	1	2	3	4	5	6
1 periodo (0-6am)	0,08	0,09	0,10	0,12	0,15	0,19
2 periodo (6-10am)	0,17	0,19	0,22	0,26	0,32	0,41
3 periodo (10 - 2pm)	0,10	0,11	0,13	0,15	0,19	0,24
4 periodo (2 - 6pm)	0,10	0,11	0,13	0,15	0,19	0,24
5 periodo(6 - 9pm)	0,20	0,22	0,25	0,30	0,38	0,49
6 periodo (9- 0am)	0,15	0,17	0,19	0,23	0,28	0,36
Fin de semana						
	Habitantes					
	1	2	3	4	5	6
1 periodo	0,10	0,11	0,12	0,15	0,18	0,23
2 periodo	0,20	0,22	0,26	0,31	0,39	0,50
3 periodo	0,12	0,13	0,15	0,18	0,23	0,29
4 periodo	0,12	0,13	0,15	0,18	0,23	0,29
5 periodo	0,24	0,26	0,30	0,36	0,46	0,58
6 periodo	0,18	0,20	0,23	0,27	0,34	0,44

- Factor de Operación Cocina (FO_C): Es un valor que contiene un porcentaje de operación que varía de acuerdo al periodo de la semana en que se empleen los electrodomésticos de cocina y el número de ocupantes de la vivienda (Ver Tabla A.4.5):

Tabla A.4.5 Factor de operación de la cocina por periodo de tiempo y número de habitantes

Entre semana						
	Habitantes					
	1	2	3	4	5	6
1 periodo (0-6am)	0,08	0,09	0,10	0,12	0,15	0,20
2 periodo (6-10am)	0,10	0,11	0,13	0,15	0,19	0,25
3 periodo (10 - 2pm)	0,15	0,17	0,19	0,23	0,28	0,37
4 periodo (2 - 6pm)	0,05	0,06	0,06	0,08	0,09	0,12
5 periodo(6 - 9pm)	0,17	0,19	0,22	0,26	0,32	0,42
6 periodo (9- 0am)	0,08	0,09	0,10	0,12	0,15	0,20
Fin de semana						
	Habitantes					
	1	2	3	4	5	6
1 periodo (0-6am)	0,10	0,11	0,12	0,15	0,18	0,24
2 periodo (6-10am)	0,12	0,13	0,15	0,18	0,23	0,30
3 periodo (10 - 2pm)	0,18	0,20	0,23	0,27	0,34	0,44
4 periodo (2 - 6pm)	0,06	0,07	0,08	0,09	0,11	0,15
5 periodo(6 - 9pm)	0,20	0,22	0,26	0,31	0,39	0,50
6 periodo (9- 0am)	0,10	0,11	0,12	0,15	0,18	0,24

- Factor de Operación Calor (FO_{CA}): Es un valor que contiene un porcentaje de operación que varía de acuerdo al periodo de la semana en que se empleen los electrodomésticos de calor y el número de ocupantes de la vivienda (Ver Tabla A.4.6):

Tabla A.4.6 Factor operación electrodomésticos calor por periodo de tiempo y número de habitantes

Entre semana						
	Habitantes					
	1	2	3	4	5	6
1 periodo (0-6am)	0,05	0,06	0,06	0,08	0,09	0,12
2 periodo (6-10am)	0,08	0,09	0,10	0,12	0,15	0,20
3 periodo (10 - 2pm)	0,04	0,04	0,05	0,06	0,08	0,10
4 periodo (2 - 6pm)	0,03	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07
5 periodo(6 - 9pm)	0,10	0,11	0,13	0,15	0,19	0,25
6 periodo (9- 0am)	0,05	0,06	0,06	0,08	0,09	0,12
Fin de semana						
	Habitantes					
	1	2	3	4	5	6
1 periodo (0-6am)	0,06	0,07	0,08	0,09	0,12	0,15
2 periodo (6-10am)	0,10	0,11	0,13	0,15	0,19	0,25

3 periodo (10 - 2pm)	0,05	0,06	0,06	0,08	0,09	0,12
4 periodo (2 - 6pm)	0,04	0,04	0,05	0,06	0,07	0,09
5 periodo(6 - 9pm)	0,13	0,14	0,16	0,19	0,24	0,31
6 periodo (9- 0am)	0,06	0,07	0,08	0,09	0,12	0,15

- Factor de Operación Varios (FO_V): Es un valor que contiene un porcentaje de operación que varía de acuerdo al periodo de la semana en que se empleen los electrodomésticos de varios y el número de ocupantes de la vivienda (Ver Tabla A.4.7):

Tabla A.4.7 Factor operación electrodomésticos varios por periodo de tiempo y número de habitantes

Entre semana						
	Habitantes					
	1	2	3	4	5	6
1 periodo (0-6am)	0,05	0,05	0,06	0,07	0,08	0,10
2 periodo (6-10am)	0,10	0,11	0,12	0,13	0,16	0,20
3 periodo (10 - 2pm)	0,08	0,08	0,09	0,11	0,13	0,16
4 periodo (2 - 6pm)	0,05	0,05	0,06	0,07	0,08	0,10
5 periodo(6 - 9pm)	0,12	0,13	0,14	0,16	0,19	0,24
6 periodo (9- 0am)	0,05	0,05	0,06	0,07	0,08	0,10
Fin de semana						
	Habitantes					
	1	2	3	4	5	6
1 periodo	0,06	0,06	0,07	0,08	0,09	0,11
2 periodo	0,12	0,12	0,13	0,15	0,18	0,23
3 periodo	0,09	0,10	0,11	0,12	0,15	0,18
4 periodo	0,06	0,06	0,07	0,08	0,09	0,11
5 periodo	0,14	0,14	0,16	0,18	0,22	0,27
6 periodo	0,06	0,06	0,07	0,08	0,09	0,11

3. Grupos Ropa y Baño

Se explicará los grupos de ropa y baño ya que el comportamiento que se llevó a cabo en las respectivas variables es similar y se maneja una menor cantidad de electrodomésticos en ellos, algunas explicaciones de variables se omitirán ya que su procedimiento de diseño se efectúa como en los grupos anteriores.

- Escenario base cantidad electrodomésticos Ropa (EBC_R): se seleccionaron dos (2) tipos de dispositivos de ropa (Lavadora y Secadora), la cantidad máxima promedio se determinó en uno (1) de acuerdo a los datos de la encuesta.

- Escenario base cantidad electrodomésticos Ducha (EBC_D): se seleccionaron tres (3) tipos de dispositivos de ducha (Ducha eléctrica, calentador eléctrico y calentador gas), la cantidad máxima promedio para los calentadores se determinó en uno (1) al igual que para las duchas eléctricas de acuerdo a los datos de la encuesta.

- Intervalo Cantidad Ropa (IC_R): se efectuaron dos intervalos de cantidad de dispositivos de ropa, de acuerdo a los resultados de la encuesta en donde el 100% posee lavadora mientras que tan solo el 7% poseen secadora, estos intervalos son para conservar la probabilidad de que se cumplan estos porcentajes.

- Intervalo Cantidad Ducha (IC_D): se efectuaron tres intervalos de cantidad de dispositivos de ducha, de acuerdo a los resultados de la encuesta en donde el 32% posee calentador a gas, el 16 % calentador eléctrico y el 52% ducha eléctrica, estos intervalos son para conservar la probabilidad de que se cumplan estos porcentajes.

- Tiempo de uso base de los electrodomésticos grupo Ducha en cada periodo de tiempo (TUB_{ED}): este dato se proyectó de acuerdo a la encuesta y la curva de demanda sobre el uso de los electrodomésticos en cada periodo de tiempo.

- Tiempo de uso base de los electrodomésticos grupo Ropa en cada periodo de tiempo (TUB_{ER}): este dato se proyectó teniendo en cuenta que no son de uso diario sino semanal, aproximadamente 3 horas a la semana, se dividió en los siete días a la semana, obteniendo un valor de 0.42 horas día, dato que se

distribuyó en los 5 horas del día que posiblemente se hace uso de estos electrodomésticos que es 0.0858 horas día.

- Probabilidad Horas Uso grupos Ropa y Baño por Periodo de Tiempo (PHUE): Esta variable maneja las probabilidades de encendido de cada uno de los electrodomésticos seleccionados, en cada uno de los periodos del día, se maneja con una matriz 3x24 teniendo en cuenta el porcentaje de uso promedio arrojado en la encuesta para Ropa y Baño.

- Factor de Operación Ropa (FOR): Es un valor que contiene un porcentaje de operación que varía de acuerdo al periodo de la semana en que se empleen los electrodomésticos de ropa y el número de ocupantes de la vivienda (Ver Tabla A.4.8):

Tabla A.4.8 Factor de operación de ropa por periodo de tiempo y número de habitantes

Entre semana						
	Habitantes					
	1	2	3	4	5	6
1 periodo (0-6am)	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,03
2 periodo (6-10am)	0,10	0,12	0,14	0,17	0,22	0,30
3 periodo (10 - 2pm)	0,03	0,03	0,04	0,05	0,07	0,09
4 periodo (2 - 6pm)	0,03	0,03	0,04	0,05	0,07	0,09
5 periodo(6 - 9pm)	0,15	0,17	0,21	0,26	0,34	0,45
6 periodo (9- 0am)	0,05	0,06	0,07	0,09	0,11	0,15
Fin de semana						
	Habitantes					
	1	2	3	4	5	6
1 periodo (0-6am)	0,01	0,01	0,02	0,02	0,03	0,04
2 periodo (6-10am)	0,13	0,15	0,18	0,22	0,29	0,39
3 periodo (10 - 2pm)	0,04	0,04	0,05	0,07	0,09	0,12
4 periodo (2 - 6pm)	0,04	0,04	0,05	0,07	0,09	0,12
5 periodo(6 - 9pm)	0,20	0,22	0,27	0,34	0,44	0,59
6 periodo (9- 0am)	0,07	0,07	0,09	0,11	0,15	0,20

- Factor de Operación Ducha (FO_D): Es un valor que contiene un porcentaje de operación que varía de acuerdo al periodo de la semana en que se empleen los electrodomésticos de Ropa y el número de ocupantes de la vivienda (Ver Tabla A.4.9):

Tabla A.4.9 Factor de operación de ducha por periodo de tiempo y número de habitantes

Entre semana						
	Habitantes					
	1	2	3	4	5	6
1 periodo (0-6am)	0,10	0,12	0,15	0,20	0,26	0,37
2 periodo (6-10am)	0,20	0,24	0,30	0,39	0,53	0,74
3 periodo (10 - 2pm)	0,01	0,01	0,02	0,02	0,03	0,04
4 periodo (2 - 6pm)	0,01	0,01	0,02	0,02	0,03	0,04
5 periodo(6 - 9pm)	0,05	0,06	0,08	0,10	0,13	0,18
6 periodo (9- 0am)	0,01	0,01	0,02	0,02	0,03	0,04
Fin de semana						
	Habitantes					
	1	2	3	4	5	6
1 periodo (0-6am)	0,11	0,13	0,17	0,21	0,29	0,41
2 periodo (6-10am)	0,22	0,26	0,33	0,43	0,58	0,81
3 periodo (10 - 2pm)	0,01	0,01	0,02	0,02	0,03	0,04
4 periodo (2 - 6pm)	0,01	0,01	0,02	0,02	0,03	0,04
5 periodo(6 - 9pm)	0,06	0,07	0,08	0,11	0,14	0,20
6 periodo (9- 0am)	0,01	0,01	0,02	0,02	0,03	0,04

APENDICE 5. SIMULACIONES HABITOS DE CONSUMO

1. Simulación: Resultados simulación curva base de hábitos de consumo

Tabla A.5.10 Resultados simulación curva base de hábitos de consumo

	Escenario Base	Desviación Estándar	Positivo	Negativo	Simulación Base
0	155,603534	90,3960605	245,999594	65,207473	119,727648
1	129,574427	94,557992	224,132419	35,0164347	102,002264
2	118,283513	98,1356918	216,419205	20,1478214	85,9482229
3	126,935036	104,099876	231,034912	22,8351602	96,312434
4	164,847228	93,7661136	258,613342	71,0811147	113,348832
5	260,954807	312,868553	573,82336	0	169,553361
6	276,257929	192,102094	468,360023	84,1558349	344,874208
7	316,00825	216,768005	532,776254	99,2402449	396,408032
8	270,452381	189,697487	460,149868	80,7548945	370,530667
9	264,971312	213,878767	478,850079	51,0925443	235,972181
10	275,245262	215,373888	490,61915	59,8713747	225,118444
11	226,381727	97,9187722	324,300499	128,462955	207,270975
12	249,017233	160,237576	409,254809	88,7796572	266,807997
13	227,337954	134,87741	362,215365	92,4605439	305,910028
14	218,865214	101,092393	319,957606	117,772821	282,561714
15	215,805129	88,2592142	304,064343	127,545915	232,453216
16	216,063555	87,8836096	303,947164	128,179945	233,345042
17	239,648894	91,5676872	331,216581	148,081207	232,768176
18	310,747286	177,67436	488,421646	133,072926	260,850251
19	329,949432	182,944496	512,893928	147,004936	433,783756
20	305,331352	153,814757	459,14611	151,516595	392,024068
21	297,982543	149,818583	447,801126	148,16396	237,390132
22	246,101356	120,742725	366,844081	125,358631	186,586611
23	180,779214	80,5726252	261,351839	100,206588	168,805527
Consumo Mensual kWh	**168,866442**				**171,010614**

2. Simulación escenario 1:

Figura A.5.1 Simulación Cambio Hábitos de Consumo en Iluminación menos 10% en el periodo 18 y 21 horas.

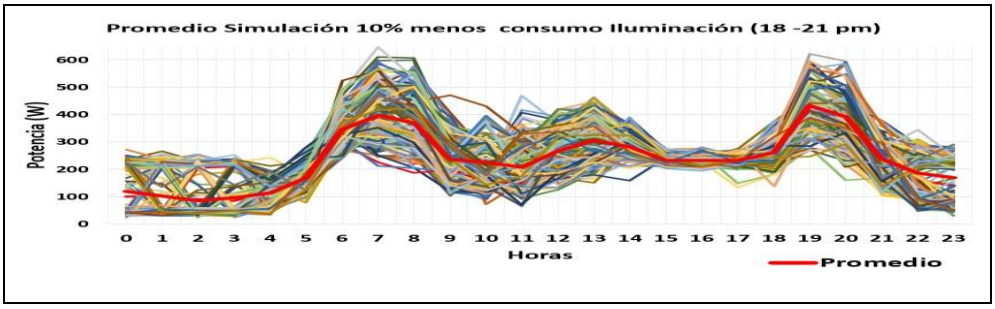


Tabla A.5.2 Resultados Cambio Hábitos Consumo Iluminación menos 10% periodo 18 y 21 horas.

Horas	Simulación Base	Simulación Iluminación 10% Menos	Desviación Estándar	Porcentaje Desviación	Porcentaje Variación
0	119,73	100,22	13,80	6%	16%
1	102,00	102,27	0,19	0%	0,26%
2	85,95	90,38	3,13	1%	5,15%
3	96,31	84,16	8,59	4%	13%
4	113,35	118,02	3,30	1%	4,12%
5	169,55	163,94	3,97	2%	3%
6	344,87	354,22	6,61	3%	2,71%
7	396,41	398,83	1,71	1%	0,61%
8	370,53	391,80	15,04	7%	5,74%
9	235,97	234,61	0,96	0%	1%
10	225,12	207,73	12,29	5%	8%
11	207,27	226,75	13,78	6%	9,40%
12	266,81	274,85	5,69	2%	3,02%

13	305,91	307,22	0,93	0%	0,43%
14	282,56	303,05	14,49	6%	7,25%
15	232,45	237,79	3,77	2%	2,30%
16	233,35	237,49	2,93	1%	1,78%
17	232,77	234,97	1,56	1%	0,95%
18	260,85	236,86	16,96	7%	9%
19	433,78	409,34	17,28	8%	6%
20	392,02	345,91	32,61	14%	12%
21	237,39	223,10	10,11	4%	6%
22	186,59	159,81	18,93	8%	14%
23	168,81	141,05	19,63	9%	16%
Consumo Mensual kWh	171,01	167,53			2.03%

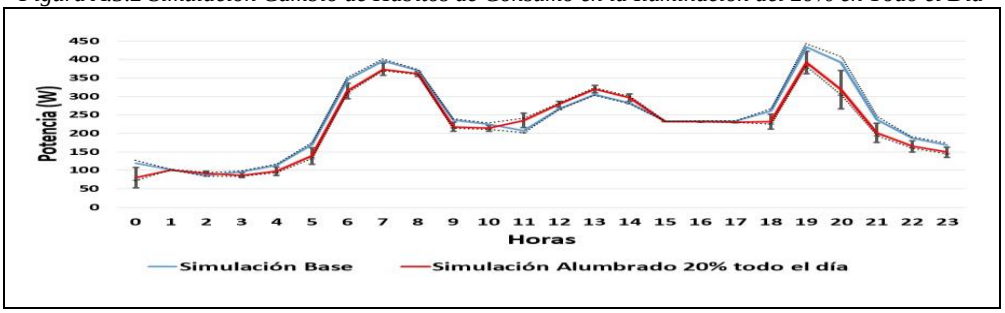
3. Simulación escenario 2:

Tabla A.5.3 Resultados Simulación Cambio Hábitos Consumo en Iluminación del 10% menos - Periodos: 5–7 y 18-21 horas

Horas	Simulación Base	Simulación Alumbrado 10% dos periodos	Desviación Estándar	Porcentaje Desviación	Porcentaje Variación
0	119,727648	99,5431591	14,27	5%	17%
1	102,002264	98,4019467	2,55	1%	4%
2	85,9482229	95,8441071	7,00	2%	11,51%
3	96,312434	99,3171066	2,12	1%	3,12%
4	113,348832	100,718426	8,93	3%	11%
5	169,553361	145,847949	16,76	6%	14%
6	344,874208	316,782619	19,86	7%	8%
7	396,408032	361,172554	24,92	9%	9%
8	370,530667	351,103794	13,74	5%	5%
9	235,972181	228,31733	5,41	2%	3%
10	225,118444	228,483732	2,38	1%	1,49%
11	207,270975	225,363704	12,79	5%	8,73%
12	266,807997	283,752621	11,98	4%	6,35%
13	305,910028	323,656288	12,55	4%	5,80%
14	282,561714	299,09514	11,69	4%	5,85%
15	232,453216	235,436948	2,11	1%	1,28%
16	233,345042	238,164943	3,41	1%	2,07%
17	232,768176	237,928038	3,65	1%	2,22%
18	260,850251	218,099137	30,23	11%	16%
19	433,783756	399,061346	24,55	9%	8%
20	392,024068	358,4559	23,74	8%	9%
21	237,390132	213,233221	17,08	6%	10%
22	186,586611	195,594278	6,37	2%	4,83%
23	168,805527	176,258005	5,27	2%	4,41%
Consumo Mensual kWh	171,01	165,88			2.99%

4. Simulación escenario 3:

Figura A.5.2 Simulación Cambio de Hábitos de Consumo en la Iluminación del 20% en Todo el Día



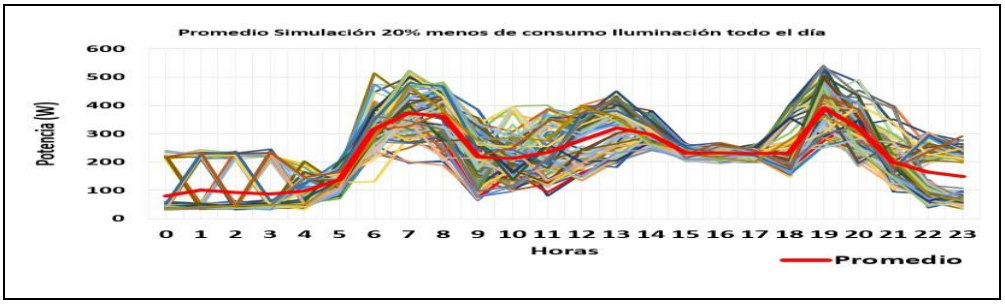


Tabla A.5.4 Resultados simulación Cambio Hábitos Consumo en la Iluminación del 20% en Todo el Día

Hora	Simulación Base	Simulación Alumbrado 20% todo el día	Desviación Estándar	Porcentaje Desviación	Porcentaje Variación
0	119,727648	80,9133152	27,45	8%	32%
1	102,002264	100,824306	0,83	0%	1%
2	85,9482229	92,401357	4,56	1%	7,51%
3	96,312434	86,5896254	6,88	2%	10%
4	113,348832	97,2535209	11,38	3%	14%
5	169,553361	138,694815	21,82	6%	18%
6	344,874208	314,608683	21,40	6%	9%
7	396,408032	373,665847	16,08	5%	6%
8	370,530667	360,709152	6,94	2%	3%
9	235,972181	217,890825	12,79	4%	8%
10	225,118444	213,660907	8,10	2%	5%
11	207,270975	234,861908	19,51	6%	13,31%
12	266,807997	278,675787	8,39	2%	4,45%
13	305,910028	320,002664	9,96	3%	4,61%
14	282,561714	296,892245	10,13	3%	5,07%
15	232,453216	231,835277	0,44	0%	0,3%
16	233,345042	231,534197	1,28	0%	1%
17	232,768176	230,233821	1,79	1%	1%
18	260,850251	231,804409	20,54	6%	11%
19	433,783756	391,100311	30,18	9%	10%
20	392,024068	318,430433	52,04	15%	19%
21	237,390132	200,744702	25,91	7%	15%
22	186,586611	165,188428	15,13	4%	11%
23	168,805527	149,025683	13,99	4%	12%
Consumo Mensual kWh	171,01	160,72			6.01%

5. Simulación escenario 4:

Figura A.5.3 Simulación Cambio de Hábitos de Consumo en Entretenimiento del 20% en Todo el Día

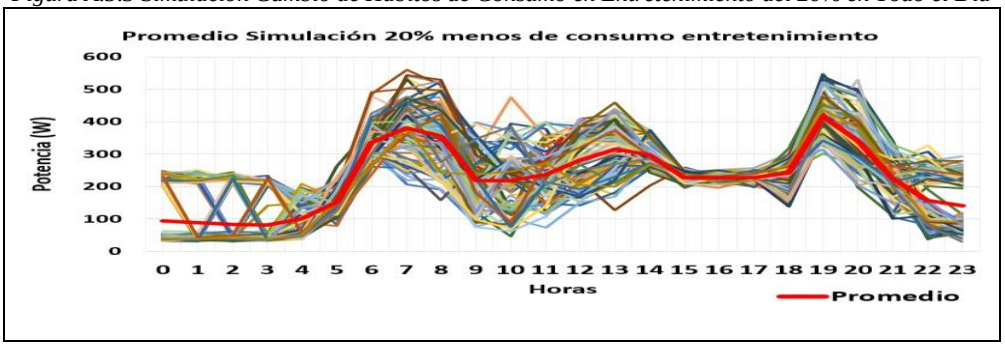


Tabla A.5.5 Resultados simulación Cambio Hábitos Consumo en iluminación del 20% en todo el día

	Simulación Base	Simulación Entretenimiento 20% Menos	Desviación Estándar	Porcentaje Desviación	Porcentaje Variación
0	119,73	94,57	17,79	7%	21%
1	102,00	88,39	9,62	4%	13%

2	85,95	83,51	1,72	1%	3%
3	96,31	81,75	10,29	4%	15%
4	113,35	102,02	8,01	3%	10%
5	169,55	154,35	10,75	4%	9%
6	344,87	335,41	6,69	2%	3%
7	396,41	381,13	10,81	4%	4%
8	370,53	356,07	10,22	4%	4%
9	235,97	218,84	12,11	4%	7%
10	225,12	218,92	4,38	2%	3%
11	207,27	237,22	21,18	8%	14,45%
12	266,81	282,54	11,13	4%	5,90%
13	305,91	316,85	7,73	3%	3,57%
14	282,56	298,74	11,44	4%	5,72%
15	232,45	228,78	2,60	1%	1,6%
16	233,35	228,18	3,65	1%	2%
17	232,77	227,54	3,70	1%	2%
18	260,85	242,95	12,66	5%	7%
19	433,78	416,67	12,10	4%	4%
20	392,02	340,45	36,47	13%	13%
21	237,39	226,26	7,87	3%	5%
22	186,59	158,47	19,88	7%	15%
23	168,81	141,67	19,19	7%	16%
Consumo Mensual kWh	171,01	163,84			4.19%

6. Simulación escenario 5:

Figura A.5.4 Simulación Cambio Hábitos Consumo en Entretenimiento y Nevera del 20% todo el día

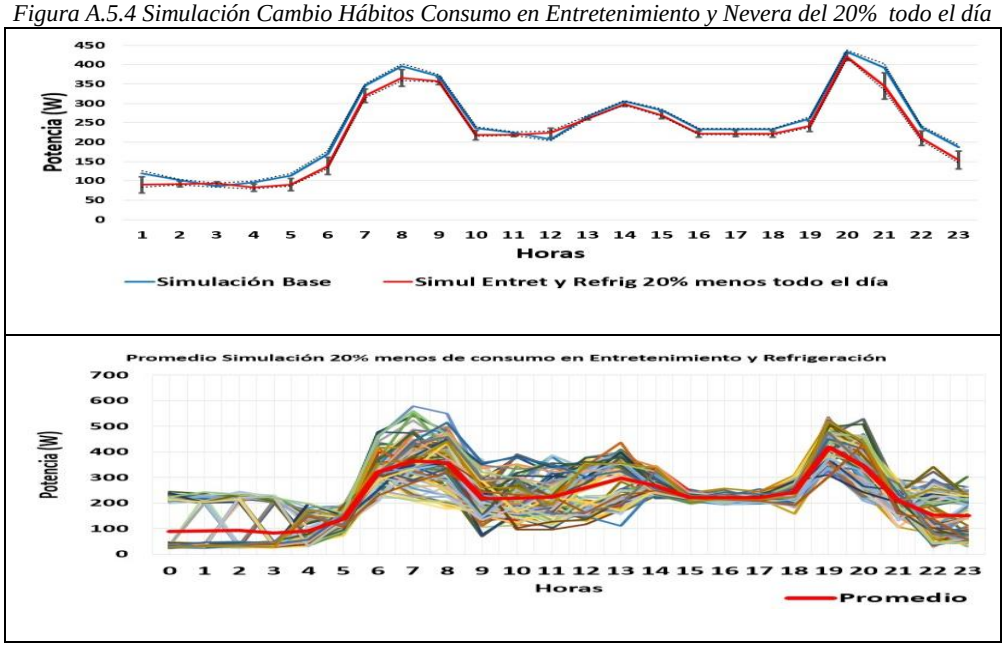


Tabla A.5.6 Resultados simulación Cambio Hábitos Consumo Entretenimiento y Nevera del 20% en Todo el Día

Horas	Simulación Base	Simulación Entretenimiento y Refrigeración 20% menos todo el día	Desviación Estándar	Porcentaje Desviación	Porcentaje Variación
0	119,727648	89,8451746	21,13	7%	25%
1	102,002264	91,5101929	7,42	2%	10%
2	85,9482229	92,77363	4,83	2%	7,94%
3	96,312434	82,6449729	9,66	3%	14%
4	113,348832	90,8206655	15,93	5%	20%
5	169,553361	138,266413	22,12	7%	18%
6	344,874208	319,759351	17,76	6%	7%
7	396,408032	365,56521	21,81	7%	8%
8	370,530667	357,745235	9,04	3%	3%
9	235,972181	218,490115	12,36	4%	7%

10	225,118444	218,734175	4,51	1%	3%
11	207,270975	224,068393	11,88	4%	8,10%
12	266,807997	261,195121	3,97	1%	2%
13	305,910028	297,541469	5,92	2%	3%
14	282,561714	269,667255	9,12	3%	5%
15	232,453216	221,415062	7,81	2%	4,7%
16	233,345042	222,262483	7,84	3%	5%
17	232,768176	220,912318	8,38	3%	5%
18	260,850251	241,601433	13,61	4%	7%
19	433,783756	419,952194	9,78	3%	3%
20	392,024068	344,246252	33,78	11%	12%
21	237,390132	210,462623	19,04	6%	11%
22	186,586611	153,820996	23,17	7%	18%
23	168,805527	151,869136	11,98	4%	10%
Consumo Mensual kWh	171,01	159,15			6.93%

7. Simulación escenario 6:

Figura A.5.5 Simulación Cambio Hábitos Consumo en Calor del 20%, periodos (6-8 y 19-21horas)

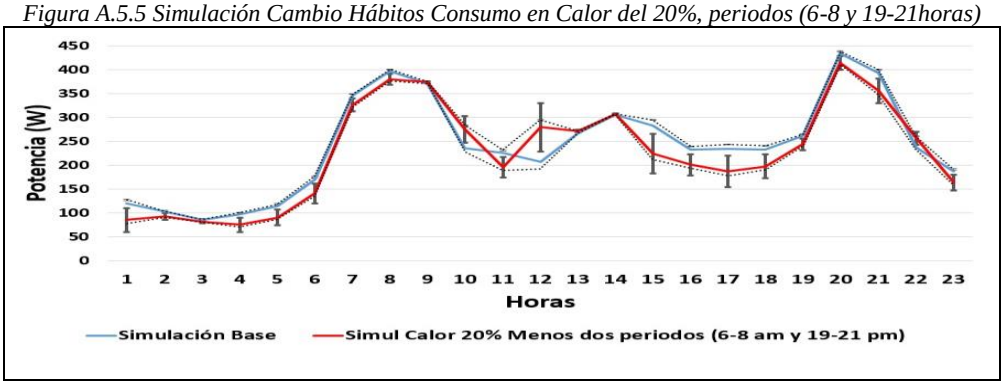


Tabla A.5.11 Resultados simulación Cambio Hábitos Consumo Calor del 20% periodos (6-8 y 19-21horas)

Horas	Simulación Base	Simulación Calor 20% menos dos periodos (6-8 am y 19-21 pm)	Desviación Estándar	Porcentaje Desviación	Porcentaje Variación
0	119,73	84,85	24,66	6%	29%
1	102,00	92,55	6,68	2%	9%
2	85,95	81,78	2,95	1%	5%
3	96,31	75,04	15,04	3%	22%
4	113,35	90,41	16,22	4%	20%
5	169,55	140,79	20,34	5%	17%
6	344,87	325,62	13,62	3%	6%
7	396,41	379,44	12,00	3%	4%
8	370,53	373,35	2,00	0%	0,76%
9	235,97	274,86	27,50	6%	16,48%
10	225,12	195,40	21,01	5%	13%
11	207,27	278,98	50,71	11%	34,60%
12	266,81	270,77	2,80	1%	1,48%
13	305,91	306,88	0,68	0%	0%
14	282,56	224,10	41,34	9%	21%
15	232,45	200,39	22,67	5%	13,8%
16	233,35	187,23	32,61	7%	20%
17	232,77	197,17	25,17	6%	15%
18	260,85	243,36	12,37	3%	7%
19	433,78	413,98	14,00	3%	5%
20	392,02	355,53	25,81	6%	9%
21	237,39	256,47	13,49	3%	8,04%
22	186,59	163,63	16,24	4%	12%
23	168,81	136,55	22,81	5%	19%
Consumo Mensual kWh	171,01	160,47	442,71		6.16%

8. Simulación escenario 7:

Figura A.5.56 Simulación Cambio Hábitos Consumo en Cocina del 20% Durante Todo el Día

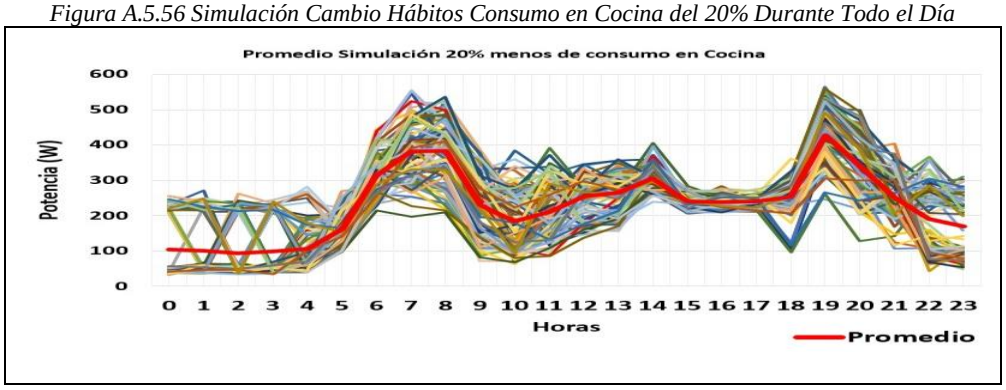


Tabla A.5.8 Resultados simulación Cambio Hábitos Consumo Cocina del 20% Durante Todo el Día

Horas	Simulación Base	Simulación Cocina 20% Menos Todo El Día	Desviación Estándar	Porcentaje Desviación	Porcentaje Variación
0	119,73	104,784887	10,57	4%	12%
1	102,00	99,9135575	1,48	1%	2%
2	85,95	94,3213093	5,92	2%	9,74%
3	96,31	98,368014	1,45	1%	2,13%
4	113,35	105,226805	5,74	2%	7%
5	169,55	162,026196	5,32	2%	4%
6	344,87	312,549564	22,86	10%	9%
7	396,41	381,812285	10,32	4%	4%
8	370,53	384,166383	9,64	4%	3,68%
9	235,97	229,090119	4,87	2%	3%
10	225,12	184,447557	28,76	12%	18%
11	207,27	209,956056	1,90	1%	1,30%
12	266,81	253,596586	9,34	4%	5%
13	305,91	264,588017	29,22	12%	14%
14	282,56	304,852959	15,76	7%	7,89%
15	232,45	240,824427	5,92	2%	3,60%
16	233,35	238,736683	3,81	2%	2,31%
17	232,77	239,605279	4,83	2%	2,94%
18	260,85	253,117488	5,47	2%	3%
19	433,78	426,911998	4,86	2%	2%
20	392,02	339,460748	37,17	15%	13%
21	237,39	253,536552	11,42	5%	6,80%
22	186,59	189,97779	2,40	1%	1,82%
23	168,81	170,474466	1,18	0%	0,99%
Consumo Mensual Kwh	171,01	166,270372			2.77%

9. Simulación escenario 8:

Figura A.5.7 Simulación Cambio Hábitos Consumo Ducha y Ropa del 10% Todo el Día

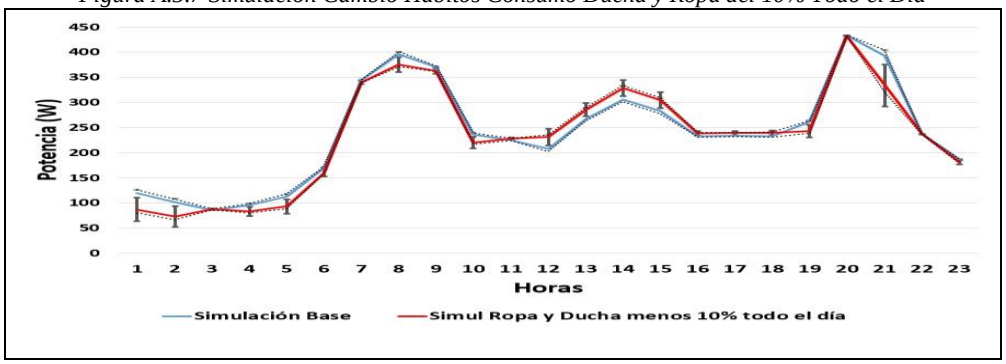


Tabla A.5.9 Resultados simulación Cambio Hábitos Consumo Ducha y Ropa del 10% Todo el Día

Horas	Simulación Base	Simulación Ropa y Ducha menos 10% todo el día	Desviación Estándar	Porcentaje Desviación	Porcentaje Variación
0	119,73	87,0046041	23,14	9%	27%
1	102,00	72,6598731	20,75	8%	29%
2	85,95	87,4966359	1,09	0%	1,80%
3	96,31	83,2625717	9,23	4%	14%
4	113,35	93,0781803	14,33	6%	18%
5	169,55	159,577703	7,05	3%	6%
6	344,87	340,291601	3,24	1%	1%
7	396,41	375,594326	14,72	6%	5%
8	370,53	362,773231	5,49	2%	2%
9	235,97	220,080499	11,24	4%	7%
10	225,12	228,453942	2,36	1%	1,48%
11	207,27	231,136646	16,88	7%	11,51%
12	266,81	285,677395	13,34	5%	7,07%
13	305,91	328,76409	16,16	6%	7,47%
14	282,56	304,604065	15,59	6%	7,80%
15	232,45	238,563393	4,32	2%	2,63%
16	233,35	239,012315	4,01	2%	2,43%
17	232,77	239,572161	4,81	2%	2,92%
18	260,85	242,960221	12,65	5%	7%
19	433,78	432,418403	0,97	0%	0%
20	392,02	333,677285	41,26	16%	15%
21	237,39	236,824365	0,40	0%	0%
22	186,59	180,998508	3,95	2%	3%
23	168,81	162,435465	4,50	2%	4%
Consumo Mensual kWh	171,01	167,00			2.34%

10. Simulación escenario 9:

Figura A.5.8 Simulación Cambio Hábitos Consumo en electrodomésticos varios 20% todo el día

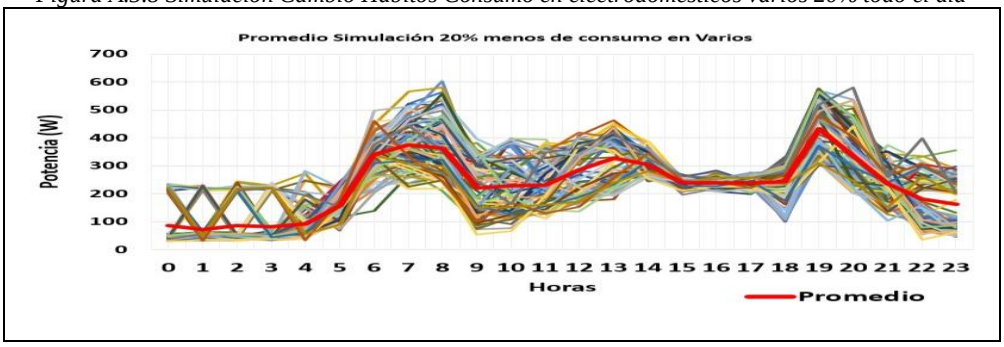


Tabla A.5.12 Resultad simul Cambio Hábitos Consumo en Electrodomésticos Varios 20% Todo el Día

Horas	Simulación Base	Simula Dispositivos Varios Menos 20% Todo el día	Desviación Estándar	Porcentaje Desviación	Porcentaje Variación
0	119,73	90,35	20,77	8%	25%
1	102,00	95,63	4,51	2%	6%
2	85,95	92,31	4,50	2%	7,41%
3	96,31	81,88	10,20	4%	15%
4	113,35	92,65	14,64	6%	18%
5	169,55	164,71	3,42	1%	3%
6	344,87	363,83	13,40	5%	5,50%
7	396,41	372,34	17,02	6%	6%
8	370,53	360,81	6,88	3%	3%
9	235,97	176,15	42,30	16%	25%
10	225,12	179,52	32,24	12%	20%
11	207,27	208,93	1,17	0%	0,80%
12	266,81	289,32	15,92	6%	8,44%
13	305,91	324,08	12,85	5%	5,94%
14	282,56	296,33	9,73	4%	4,87%
15	232,45	230,06	1,69	1%	1%
16	233,35	230,08	2,31	1%	1%
17	232,77	229,40	2,38	1%	1%

18	260,85	267,36	4,60	2%	2,50%
19	433,78	456,71	16,21	6%	5,28%
20	392,02	376,58	10,92	4%	4%
21	237,39	255,78	13,01	5%	7,75%
22	186,59	185,13	1,03	0%	1%
23	168,81	173,94	3,63	1%	3,04%
Consumo Mensual kWh	171,01	167,82	265,34		1.87%

11. Simulación escenario 10:

Figura A.5.9 Simulación Cambio Hábitos Consumo toda la carga del 10%, periodo de 18-21horas



Tabla A.5.13 Resultados simulación cambio hábitos consumo toda la carga del 10% de 18-21horas

Horas	Simulación Base	Simulación Toda Carga Menos 10% periodo 18-21 pm	Desviación Estándar	Porcentaje Variación
0	119,73	119,73	0,00	
1	102,00	102,00	0,00	
2	85,95	85,95	0,00	
3	96,31	96,31	0,00	
4	113,35	113,35	0,00	
5	169,55	169,55	0,00	
6	344,87	344,87	0,00	
7	396,41	396,41	0,00	
8	370,53	370,53	0,00	
9	235,97	235,97	0,00	
10	225,12	225,12	0,00	
11	207,27	207,27	0,00	
12	266,81	266,81	0,00	
13	305,91	305,91	0,00	
14	282,56	282,56	0,00	
15	232,45	232,45	0,00	
16	233,35	233,35	0,00	
17	232,77	232,77	0,00	
18	260,85	234,77	18,44	
19	433,78	390,41	30,67	
20	392,02	352,82	27,72	
21	237,39	213,65	16,79	
22	186,59	186,59	0,00	
23	168,81	168,81	0,00	
Consumo Mensual kWh	171,01	167,04		2,32 %

12. Simulación escenario 11:

Tabla A.5.114 Resultados simulación Cambios de Tecnología en las Residencias

Horas	Simulación Base	Simulación Cambio Tecnología	Desviación Estándar	Porcentaje Desviación	Porcentaje Variación
0	119,73	92,85	19,01	3%	22%
1	102,00	94,85	5,05	1%	7%
2	85,95	79,39	4,64	1%	8%
3	96,31	74,14	15,68	3%	23%
4	113,35	81,42	22,58	4%	28%
5	169,55	129,22	28,52	5%	24%
6	344,87	306,61	27,05	5%	11%
7	396,41	362,98	23,64	4%	8%
8	370,53	355,80	10,42	2%	4%

9	235,97	207,81	19,92	4%	12%
10	225,12	172,17	37,44	7%	24%
11	207,27	198,51	6,19	1%	4%
12	266,81	247,92	13,36	2%	7%
13	305,91	286,48	13,74	3%	6%
14	282,56	274,83	5,46	1%	3%
15	232,45	223,40	6,40	1%	4%
16	233,35	224,28	6,41	1%	4%
17	232,77	222,26	7,43	1%	5%
18	260,85	182,41	55,47	10%	30%
19	433,78	357,82	53,72	10%	18%
20	392,02	308,30	59,20	11%	21%
21	237,39	176,02	43,39	8%	26%
22	186,59	145,55	29,02	5%	22%
23	168,81	122,00	33,10	6%	28%
Consumo Mensual kWh	171,01	147,81	546,84		13,57%

13. Simulación escenario 12:

Figura A.5.57 Simulación del 30% Menos en Consumo de Toda la Carga

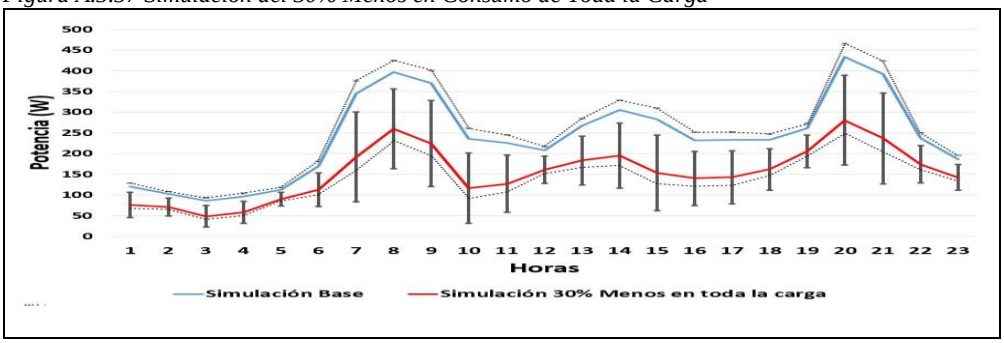
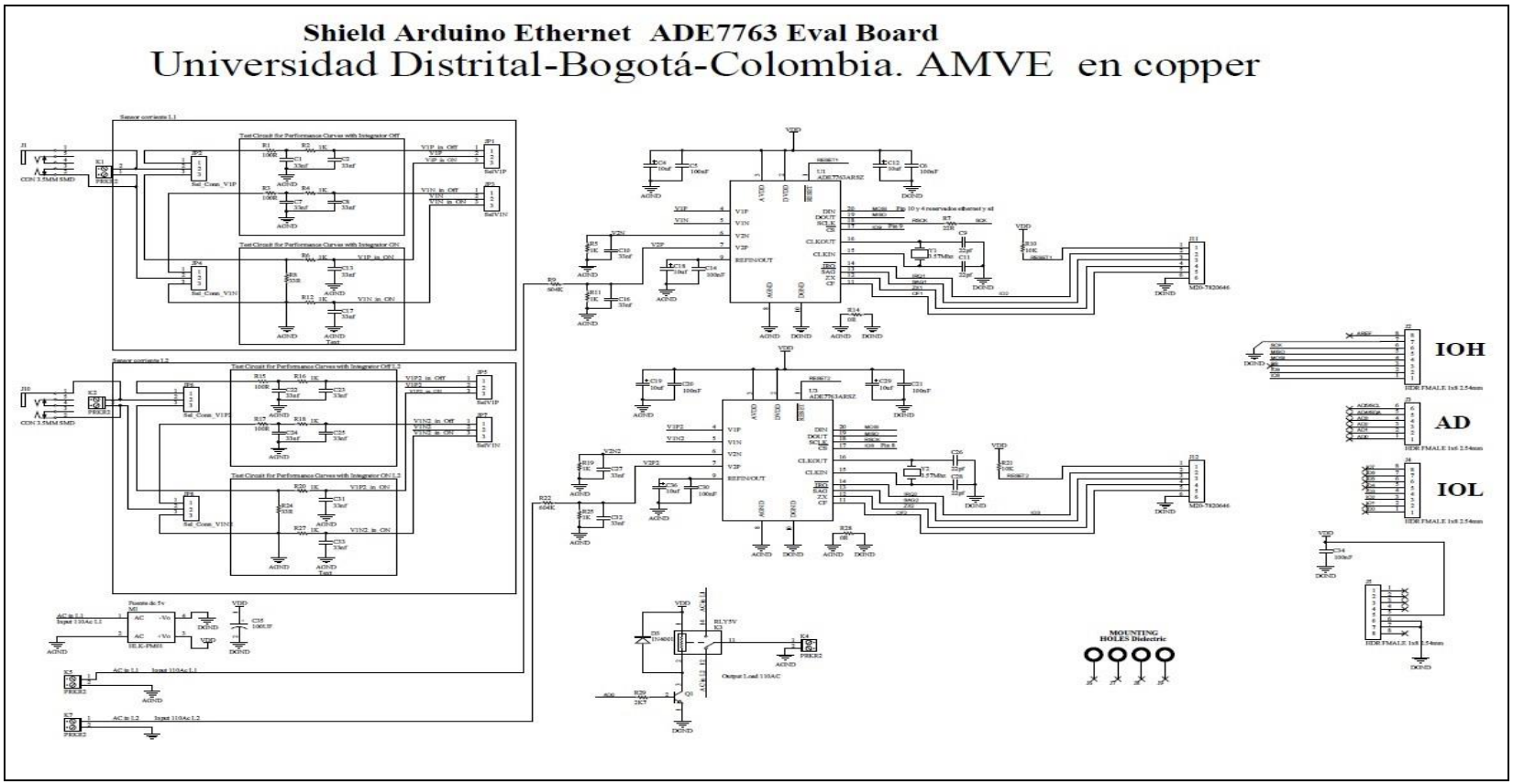


Tabla A.5.15 Resultados simulación 30% Menos en Consumo de Toda la Carga

Horas	Simulación Base	Simulación 30% Menos en toda la carga	Desviación Estándar	Porcentaje Desviación	Porcentaje Variación
0	119,73	76,2653404	30,73	69%	36%
1	102,00	71,2293456	21,76	49%	30%
2	85,95	48,6279356	26,39	59%	43%
3	96,31	58,2344034	26,93	60%	40%
4	113,35	89,9076525	16,58	37%	21%
5	169,55	112,760961	40,16	90%	33%
6	344,87	191,574252	108,40	242%	44%
7	396,41	259,75766	96,63	216%	34%
8	370,53	224,322553	103,38	231%	39%
9	235,97	116,314271	84,61	189%	51%
10	225,12	127,202657	69,24	155%	43%
11	207,27	160,899508	32,79	73%	22%
12	266,81	183,59795	58,84	132%	31%
13	305,91	195,125002	78,34	175%	36%
14	282,56	153,586378	91,20	204%	46%
15	232,45	140,272556	65,18	146%	40%
16	233,35	142,658341	64,13	143%	39%
17	232,77	162,048226	50,01	112%	30%
18	260,85	205,62842	39,05	87%	21%
19	433,78	280,460252	108,42	242%	35%
20	392,02	236,728904	109,81	246%	40%
21	237,39	174,160808	44,71	100%	27%
22	186,59	142,263141	31,34	70%	24%
23	168,81	123,734924	31,87	71%	27%
Consumo Mensual kWh	171,01	110,32	1430,47		35,49%

APENDICE 6. PLANOS



APENDICE 7. PRESUPUESTO

Tabla A7.1 Presupuesto para desarrollo del prototipo de sistema GEDE

ELEMENTO	UNIDAD	CANTIDAD	VALOR UNITARIO (PESOS)	VALOR TOTAL (PESOS)
Módulo GEDE-CFA				
Servidor HTTP				
Arduino Uno	UN	1	$ 22,000,00	$ 22,000,00
Subsistema de medida				
ADE7763	UN	2	$ 11,000,00	$ 22,000,00
Subsistema de conmutación de fuentes de alimentación				
Relé electromecánico	UN	1	$ 10,000,00	$ 10,000,00
Divisor tensión	UN	2	$1,000,00	$ 2,000,00
Subsistema de comunicaciones por línea de potencia –PLC				
Tarjeta Ethernet – encoder	UN	1	$ 33,000,00	$ 33,000,00
Módulo TP Link, TL-PA4010	UN	1	$ 58,000,00	$ 58,000,00
Subsistema Monitoreo Baterías				
Arduino Uno	UN	1	$ 22,000,00	$ 22,000,00
Tarjeta Ethernet – encoder	UN	1	$ 33,000,00	$ 33,000,00
ACS714	UN	1	$7,000,00	$ 7,000,00
Módulo TP Link, TL-PA4010	UN	1	$ 58,000,00	$ 58,000,00
SUBTOTAL			**$ 255,000,00**	**$ 267,000,00**
Módulo GEDE-SCC				
Servidor HTTP				
Arduino Uno	UN	4	$ 22,000,00	$ 88,000,00
Subsistema de medida				
ADE 7763	UN	4	$ 11,000,00	$ 44,000,00
Subsistema encendido y/o apagado				
Relé electromecánico	UN	4	$ 7,500,00	$ 30,000,00
Divisor tensión	UN	4	$1,000,00	$ 4,000,00
Subsistema de comunicaciones por línea de potencia –PLC				
Tarjeta Ethernet - encoder	UN	4	$ 33,000,00	$ 132,000,00
Módulo TP Link, TL-PA4010	UN	4	$ 58,000,00	$ 232,000,00
Otros	UN	4	$ 20,000,00	$ 80,000,00
SUBTOTAL			**$ 152,500,00**	**$ 610,000,00**
Módulo GEDE-UCP				
Rasperry Pi	UN	1	$ 148,000,00	$ 148,000,00
Memoria micro SD (4Gb)	UN	1	$ 20,000,00	$ 20,000,00
SUBTOTAL			**$ 168,000,00**	**$ 168,000,00**
Desarrollo				
Ensamble	UN	5	$ 31,000,00	$ 155,000,00
TOTAL			**$ 606,500,00**	**$ 1,200,000,00**

APENDICE 8. EJEMPLO SOFTWARE SUPERVISION, MONITOREO Y CONTROL - ARDUINO

MEDIDA CARGA DE BATERIAS

```
#include <SPI.h>
#include <Ethernet.h>

byte mac[] = {  0xDE, 0xAD, 0xBE, 0xEF, 0xFE, 0xED};
IPAddress ip(192, 168, 0, 200);
String iporigen="192.168.0.178";
EthernetServer server(80);
void setup() {
  // Abre puerto serial de comunicaciones:
  Serial.begin(9600);
  while (!Serial) {
    // Espera para conexión serial. Se necesita únicamente para puerto NATIVO USB
  }
  // Inicia conexión Ethernet:
  Ethernet.begin(mac, ip);
  server.begin();
  Serial.print("server is at ");
  Serial.println(Ethernet.localIP());
}
void loop() {
EthernetClient client = server.available();
if (client) {
Serial.println("Cliente Conectado");
boolean currentLineIsBlank = true;
while (client.connected()) {
if (client.available()) {
char señal = client.read();
Serial.write(señal);
if (señal == '\n' && currentLineIsBlank) {
client.println("HTTP/1.1 200 OK");
client.println("Content-Type: text/html");
client.println("Connection: close");  // the connection will be closed after completion of the response
client.println("Refresh: 5");  // refresh the page automatically every 5 sec
client.println();
client.println("<!DOCTYPE HTML>");
client.println("<html>");
// El dispositivo está configurado para A0=corriente, salida del ACS 712, A1 = Voltaje
int sensorCorriente = analogRead(0);
int sensorVoltaje=analogRead(1);
float voltajeCargaBat = sensorVoltaje*1.0155+0.4044;
float corrienteCargaBat = sensorCorriente*0.0494-25.239;
client.print("Corriente bateria: ");
client.print(corrienteCargaBat);
client.println("<br />");
client.print("Tensión batería : ");
client.print(voltajeCargaBat);
client.println("<br />");
client.println("</html>");
break;
delay(10);
Actualizar(voltajeCargaBat,corrienteCargaBat,0,0,0,0);
}
 if (señal == '\n') {
currentLineIsBlank = true;
} else if (señal != '\r') {
// Se ha introducido un caracteren la línea de comando
currentLineIsBlank = false;
}
}
}
// da tiempo al navegador para recibir el dato
delay(1);
// Cierra la conexión
client.stop();
Serial.println("Cliente desconectado");
  }
}
```

APENDICE 9. EJEMPLO DEL SOFTWARE APLICACIÓN WEB

MODO SEMIAUTOMATICO

```
using System;
using System.Collections.Generic;
using System.Linq;
using System.Web;
using System.Web.UI;
using System.Web.UI.WebControls;

public partial class EjecucionSemiautomatica : System.Web.UI.Page
{System.Data.DataSet datos;
System.Data.DataSet datos2;
protected void Page_Load(object sender, EventArgs e)
{ System.Data.OleDb.OleDbConnection conn;
 conn = new System.Data.OleDb.OleDbConnection();
 conn.ConnectionString = @"Provider=Microsoft.ACE.OLEDB.12.0;Data
Source=D:\AdrianaArduino\2017\SolMedidasElectricas\Persistencia\BDMedidasElectricas.accdb";
string sentenciaSQL1 = @"Select * from ProgramacionDispositivos";
try {
conn.Open();
System.Data.OleDb.OleDbDataAdapter objRes;
objRes = new System.Data.OleDb.OleDbDataAdapter(sentenciaSQL1, conn);
datos = new System.Data.DataSet();
objRes.Fill(datos, "Tabla");
System.Data.DataSet elferoz = new System.Data.DataSet();
elferoz = datos;
int con, registros;
con = elferoz.Tables["Tabla"].Rows.Count;
registros = con;
if (con != 0)
{GridView1.DataSource = elferoz.Tables["Tabla"].DefaultView;
GridView1.DataBind();
}
else{
if (con == 0)
{Label1.Text = "No se encontró información Programación";  }  } }
catch (Exception MiExc)
{datos2 = new System.Data.DataSet();
Label1.Text = "Se presentó el Siguiente Error " + MiExc.Message;
}finally
{conn.Close();}}
protected void Button1_Click(object sender, EventArgs e)
{    string mDireccionIP;
string mFechaHoraEncendido;
string mFechaHoraApagado;
try
{  int con, registros;
con = datos.Tables["Tabla"].Rows.Count;
registros = con;
if (con != 0)
{mFechaHoraEncendido = datos.Tables["Tabla"].Rows[0][2].ToString();
mFechaHoraApagado = datos.Tables["Tabla"].Rows[0][3].ToString();
mDireccionIP = datos.Tables["Tabla"].Rows[0][1].ToString();
string cadenaComando;
cadenaComando = "http://" + mDireccionIP + "/Act=2?";
Label1.Text = cadenaComando;
DateTime tiempoActual = DateTime.Now;
DateTime FechaEncen = Convert.ToDateTime(mFechaHoraEncendido);
DateTime FechaApag = Convert.ToDateTime(mFechaHoraApagado);
{tiempoActual = DateTime.Now;
while (tiempoActual > FechaEncen & tiempoActual < FechaApag)
{Response.Redirect("http://192.168.0.180/?Act=1");}
Response.Redirect("http://192.168.0.180/?Act=2");}
else
{if (con == 0)
{Label1.Text = "No se encontró información Programación";  }} }
catch (Exception tigre)
{   Label1.Text = "Se presentó un problema" + tigre.Message;}}}
```

APENDICE 10. MANUAL DEL USUARIO

MANUAL USUARIO APLICACIÓN GEDE

La aplicación para gestionar el sistema GEDE consta de la interfaz gráfica que se muestra en la Figura A10.1, la cual posee nueve menús desplegables de opciones, cada uno de ellos se explica su funcionamiento a continuación:

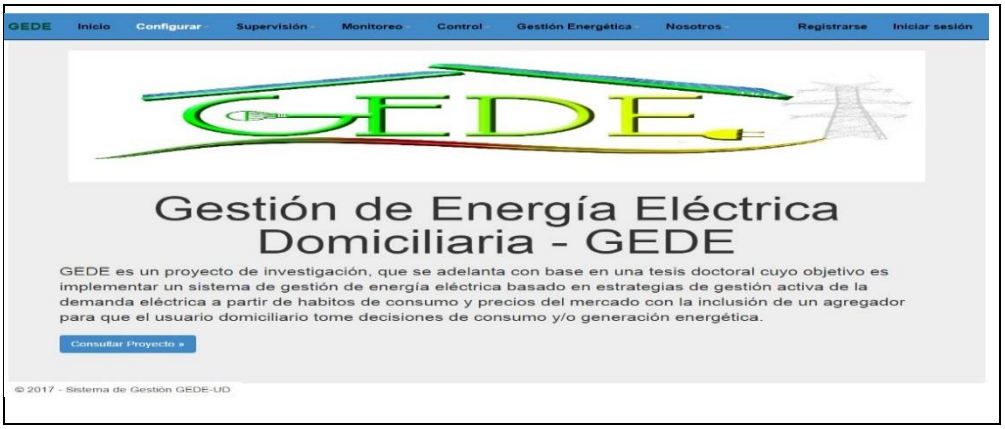


Figura A10.1. Interfaz inicial

1. **Menú "Inicio"**

Este menú muestra el objetivo principal del desarrollo el sistema de gestión GEDE, acompañado del botón "Consultar proyecto" en donde está en un documento PDF la base de la investigación, que es el anteproyecto.

2. **Menú "Configurar"**

Con este menú se crear, editar o borrar cada uno de los nodos que hacen parte de la instalación eléctrica domiciliaria, teniendo como base los siguientes: Nodo Sistema Interconectado, Nodo Generación Distribuida y Nodo Carga gestionada por el usuario, como se observa en la Figura A10.2.



Figura A10.2. Menú configurar

La ventana que se observa en la Figura A10.3, presenta un ejemplo del Nodo carga gestionada por el Usuario, en la parte superior esta la opción "Crear nuevo", al dar clic en el vínculo este muestran las alternativas de configuración para la creación de un nuevo nodo de carga que el usuario puede gestionar, es decir: supervisar, monitorear y controlar. Allí se digita el Nombre y la dirección IP asignada dentro de

la red. En la parte derecha se encuentran las alternativas para editar, ver detalles o borrar cada uno de los nodos creados.



Figura A10.3. Nodo carga gestionada por el Usuario

De igual manera en el menú configuración se encuentra la opción "Diagrama configuración red", donde se observa la configuración de la red con cada uno de sus nodos y sus respectivas direcciones IP, de acuerdo a las especificaciones realizadas por el usuario del sistema GEDE (Figura A10.4).

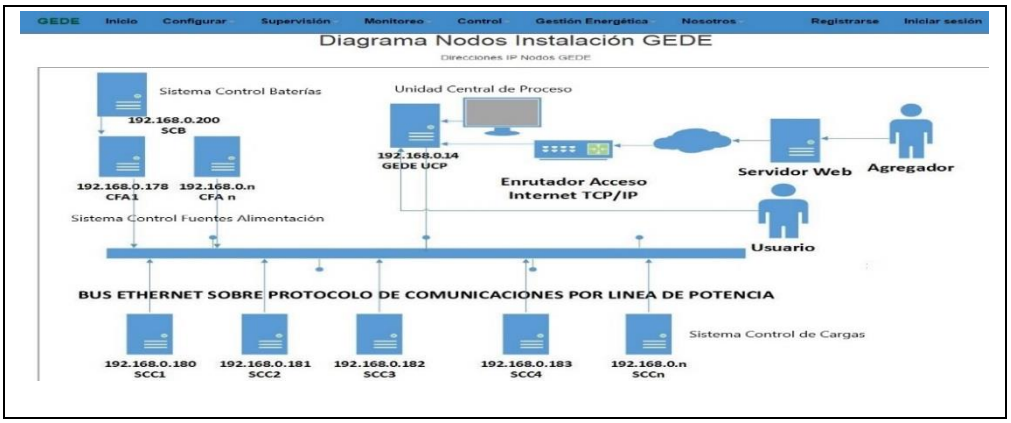


Figura A10.4. Ventana - Diagrama configuración red

3. Menú "Supervisión"

Con este menú se supervisa las medidas en tiempo real de tensión, corriente y energía de cada uno de los nodos conectados al sistema GEDE de la instalación eléctrica como son: el sistema interconectado, la generación distribuida, las cargas controladas y la carga de las baterías (Figura A10.5).

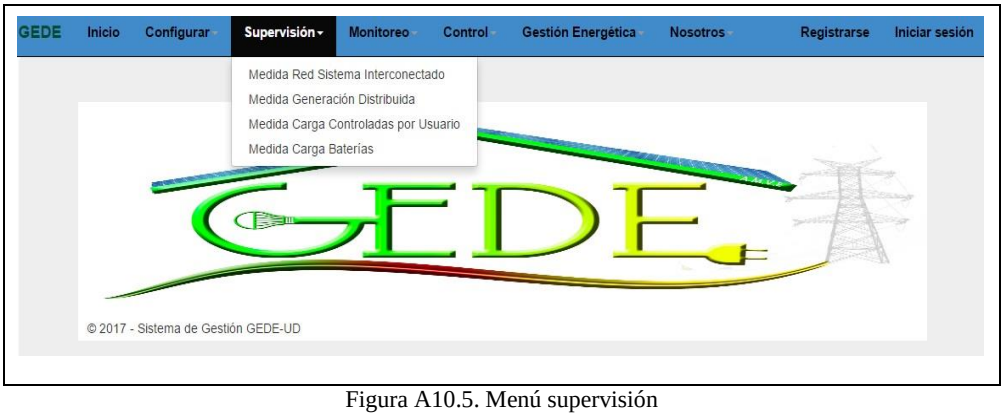
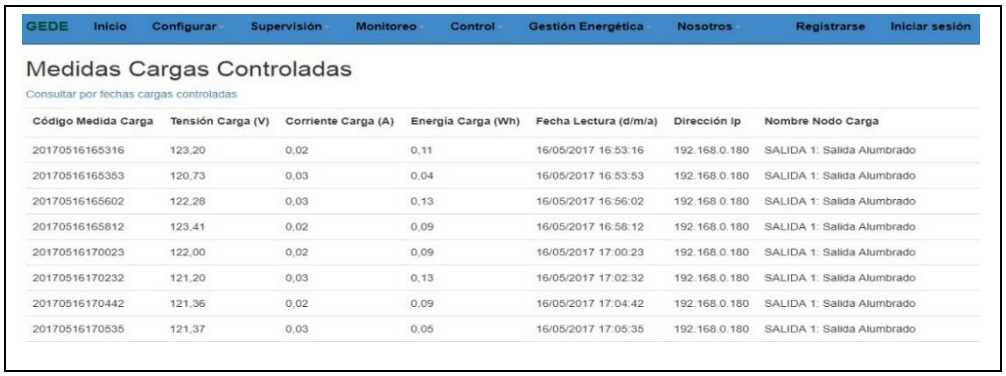


Figura A10.5. Menú supervisión

Al dar clic en alguna de las opciones se muestra la siguiente información: Código de la medida, los valores de: tensión, corriente y energía, de igual manera presenta la fecha y hora en que el sistema toma cada medida, así como la dirección IP y el nombre del nodo. En la Figura A10.6, a manera de ejemplo se muestra la supervisión de las cargas controladas por el usuario, en la parte superior esta un vínculo que realiza la consulta por periodos de tiempo:



Código Medida Carga	Tensión Carga (V)	Corriente Carga (A)	Energía Carga (Wh)	Fecha Lectura (d/m/a)	Dirección Ip	Nombre Nodo Carga
20170516165316	123,20	0,02	0,11	16/05/2017 16:53:16	192.168.0.180	SALIDA 1: Salida Alumbrado
20170516165353	120,73	0,03	0,04	16/05/2017 16:53:53	192.168.0.180	SALIDA 1: Salida Alumbrado
20170516165602	122,28	0,03	0,13	16/05/2017 16:56:02	192.168.0.180	SALIDA 1: Salida Alumbrado
20170516165812	123,41	0,02	0,09	16/05/2017 16:58:12	192.168.0.180	SALIDA 1: Salida Alumbrado
20170516170023	122,00	0,02	0,09	16/05/2017 17:00:23	192.168.0.180	SALIDA 1: Salida Alumbrado
20170516170232	121,20	0,03	0,13	16/05/2017 17:02:32	192.168.0.180	SALIDA 1: Salida Alumbrado
20170516170442	121,36	0,02	0,09	16/05/2017 17:04:42	192.168.0.180	SALIDA 1: Salida Alumbrado
20170516170535	121,37	0,03	0,05	16/05/2017 17:05:35	192.168.0.180	SALIDA 1: Salida Alumbrado

Figura A10.6. Ventana supervisión cargas controladas

4. Menú “Monitoreo”

Con el menú “Monitoreo”, se accede a las gráficas de tensión y energía de los nodos conectados al sistema GEDE, para observar el comportamiento de cada una de las señales, los submenús son lo que se observan en la Figura A10.7.

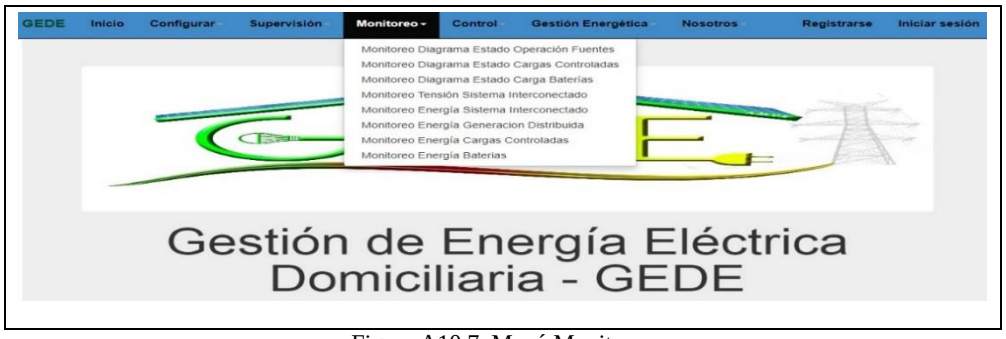


Figura A10.7. Menú Monitoreo

Cuando se selecciona alguna alternativa de tipo de señal (energía o tensión) que ofrece el menú “monitoreo” se observa gráficamente el comportamiento de la misma, a manera de ejemplo la Figura A10.8 muestra la gráfica de tensión del Nodo Sistema Interconectado; de igual manera el usuario tiene dos alternativas para realizar las consultas: por periodo de tiempo o el total de las mismas.



Figura A10.8. Monitoreo tensión Sistema Interconectado

Otras alternativas que ofrece este menú es ver el estado de operación en el que se encuentran ya sea las fuentes de alimentación, las cargas controladas o la carga de las baterías. Cuando se selecciona la opción de fuentes de alimentación se observa un diagrama donde indica que tipo de fuente está utilizando (red o generación distribuida) y los valores de tensión, corriente y energía, como se observa en la Figura A10.9.

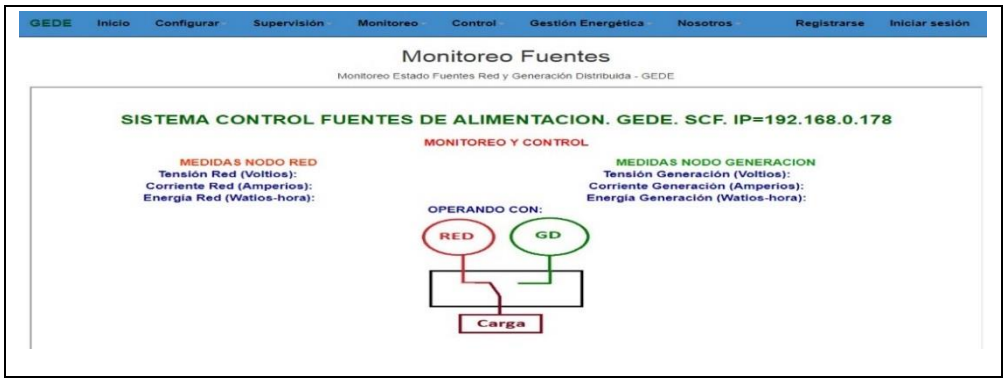


Figura A10.9. Diagrama estado operación fuentes de alimentación

Al seleccionar el monitoreo del estado de operación de las cargas controladas, muestra un diagrama en donde se observa si la carga está apagada o encendida y los valores de tensión, corriente y energía de la carga seleccionada (Ver Figura A10.10).



Figura A10.10. Diagrama estado operación cargas controladas

Otra opción es observar mediante un diagrama si la batería está cargando o no, es decir, el estado de carga de las baterías, en la Figura A10.11, se observa un ejemplo de este diagrama en donde la batería está en proceso de carga mediante el panel solar.



Figura A10.11. Diagrama estado carga de baterías

5. Menú "Control"

Con este menú se controla tanto las fuentes de alimentación como las cargas conectadas al sistema GEDE de la siguiente manera: manual, semiautomático y automático, ver Figura A10.12.



Figura A10.12. Menú Control

Cuando se selecciona el control de Fuentes de alimentación se observan dos botones de opciones de control, el primero "Manual y/o automático", que envía a una página en donde el usuario puede realizar el cambio de fuente de acuerdo a sus requerimientos y si escoge el control automático el sistema cambia a generación distribuida por si solo de acuerdo a la capacidad de las baterías, dejando un mínimo de almacenamiento de un 20%. El botón para el control semiautomático da la opción de escoger fecha y hora determinada para programar el uso de generación distribuida, la Figura A10.13, muestra la interfaz de programación.



Figura A10.13. Control semiautomático de fuentes de alimentación de energía

Con relación al control de las cargas controladas, los modos semiautomático y manual se operan de manera similar al de las fuentes de alimentación. El modo automático se manipula de acuerdo con la prioridad que establezca el usuario para el uso de las cargas cuando el sistema está con generación distribuida (Baterías), dicho porcentaje sirve de referencia para desconectar la carga, por ejemplo si se asigna 80%, esa carga se desconectará cuando la Batería alcance ese porcentaje, Ver Figura A10.14.



Figura A10.14. Control automático cargas

6. Menú "Gestión Energética"

En el menú Gestión energética se encuentran cinco pestañas, las cuales se muestra en la Figura A10.15. La primera opción "Gestión activa de la demanda-Supervisión", muestra una tabla en donde están los siguientes datos de señales por fecha en un día: Energía de las baterías, Energía Generada, Energía Consumida, Energía cargas controladas y Energía diaria disponible.



Figura A10.15. Menú Gestión Energética

Con relación a la opción "Gestión activa de la demanda-Gráficos", muestra el gráfico comparativo de la energía real de referencia de las cargas controladas Vs la energía consumida por dichas cargas usando el sistema GEDE, por periodos de tiempo o general, como se observa en la Figura A10.16.

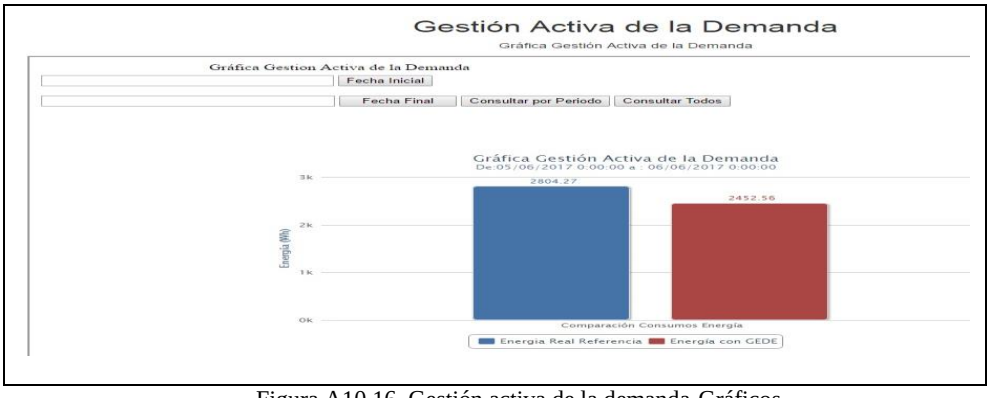


Figura A10.16. Gestión activa de la demanda-Gráficos

La opción “Gestión activa de la demanda-Indicadores-porcentaje”, muestra un análisis de los principales datos por periodos de tiempo o general en donde se publican los siguientes indicadores: Ahorro en la factura, Impacto en la curva, Ahorro por autogeneración, Ahorro por tipo de control Automático y Ahorro por tipo de control semiautomático, un ejemplo de esto se observa en la Figura A10.17.

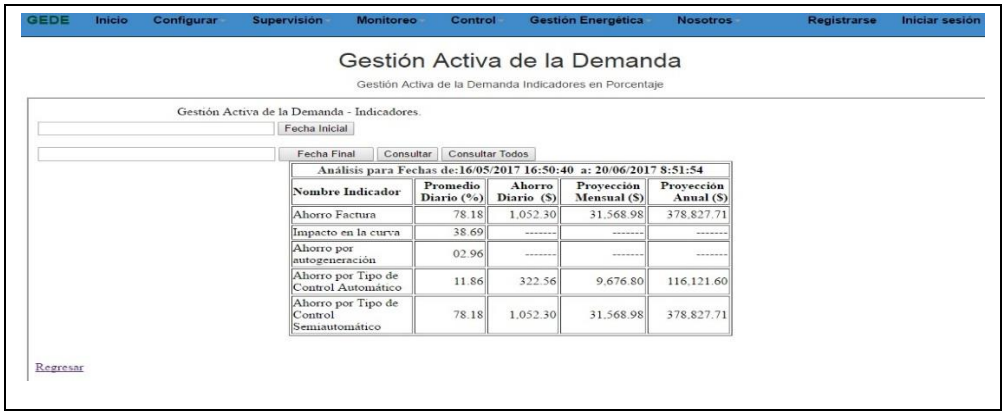


Figura A10.17. Gestión activa de la demanda-Indicadores

La opción “Gestión activa de la demanda-Indicadores-gráfico”, da a conocer el comparativo de los consumos de energía real y el consumo que se realiza de las cuatro salidas de carga controladas, mediante el GEDE y la generación distribuida, la Figura A10.18 muestra un ejemplo de cómo se visualiza.



Figura A10.18. Gestión activa de la demanda-Indicadores-gráfico

Por ultimo está la opción “Energía disponible agregador”, en la cual se encuentra la información relacionada con los posibles excedentes de energía que se le pueden enviar al Agregador para que el los gestione con el total de usuarios conectados al mismo sistema.

7. Menú “Nosotros”

En este menú se consigue la información general y de contacto de las personas involucradas en el diseño y desarrollo del sistema GEDE. La pestaña “Acerca”, la cual hace parte de este menú muestra la información que se observa en la Figura A10.19.



Figura A10.19. Información de la pestaña "Acerca"

8. Menú "Registro" e "Iniciar sesión"

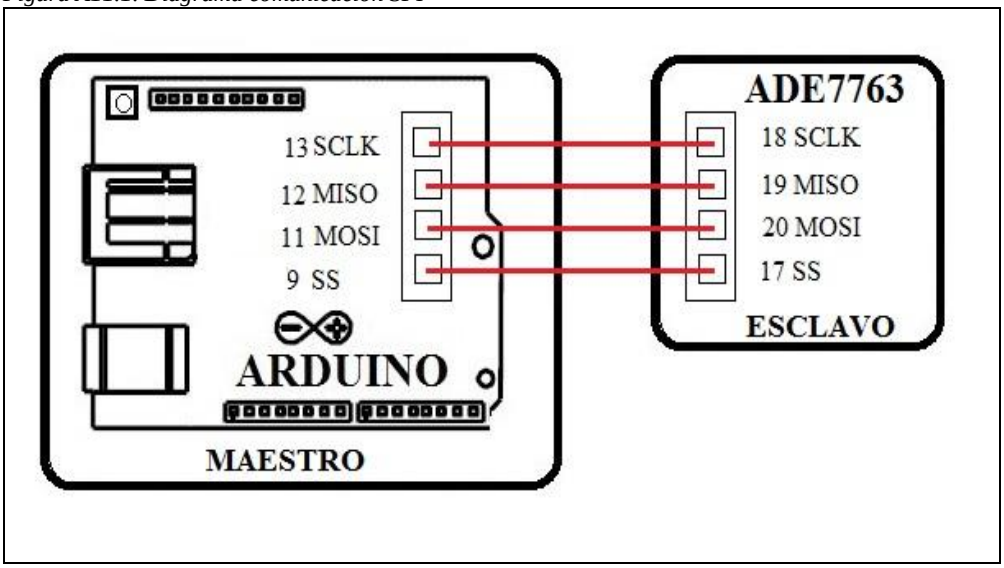
Estos dos menús están relacionados con el registro del usuario del sistema, quien tendrá los derechos de gestionar el sistema de manera remota o en el sitio como se observa en la Figura A10.20. Una vez está registrado el usuario cuenta con los permisos para gestionar el sistema GEDE e ingresa por medio del menú "Iniciar sesión".



Figura A10.20. Menú Registro

APENDICE 11. COMUNICACIÓN SPI ENTRE EL ARDUINO Y EL ADE7763

Figura A11.1. Diagrama comunicación SPI



APENDICE 12. PRUEBAS DE CALIBRACION DEL ADE7763

Tabla A12.1 Datos de corriente del instrumento Patrón Fluke y ADE7763 No 1 sin calibrar

	Prueba		Prueba		Prueba		Prueba		Prueba		Prueba	
	2 espiras		3 espiras		4 espiras		8 espiras		9 espiras		10 espiras	
Variac	ADE (A)	FLUKE (A)	ADE (A)	FLUKE (A)	ADE (A)	FLUKE (A)	ADE (A)	FLUKE (A)	ADE (A)	FLUKE (A)	ADE (A)	FLUKE (A)
5	0,36	0,56	0,95	1,46	2,99	4,42	2,99	4,42	3,84	5,78	3,84	5,78
10	0,47	0,73	1,02	1,56	3,15	4,66	3,15	4,66	4,07	6,12	3,84	5,76
15	0,54	0,84	1,08	1,66	3,31	4,90	3,31	4,90	4,29	6,45	4,21	6,32
20	0,63	0,96	1,15	1,76	3,47	5,14	3,47	5,14	4,52	6,79	4,66	6,98
25	0,69	1,07	1,22	1,86	3,62	5,38	3,62	5,38	4,74	7,12	5,03	7,53
30	0,77	1,18	1,29	1,96	3,78	5,62	3,78	5,62	4,97	7,46	5,43	8,12
35	0,83	1,28	1,36	2,06	3,94	5,86	3,94	5,86	5,19	7,79	5,79	8,65
40	0,9	1,37	1,42	2,16	4,10	6,09	4,10	6,09	5,42	8,13	6,13	9,17
45	0,95	1,45	1,44	2,18	4,25	6,33	4,25	6,33	5,64	8,47	6,44	9,63
50	1,01	1,55	1,54	2,31	4,41	6,57	4,41	6,57	5,86	8,80	6,76	10,12
55	1,07	1,63	1,61	2,44	4,57	6,81	4,57	6,81	6,09	9,14	7,08	10,59
60	1,13	1,71	1,7	2,56	4,73	7,05	4,73	7,05	6,31	9,47	7,40	11,07
65	1,17	1,78	1,78	2,68	4,88	7,29	4,88	7,29	6,54	9,81	7,70	11,51
70	1,22	1,86	1,84	2,78	5,04	7,53	5,04	7,53	6,7	10,05	7,97	11,91
75	1,27	1,93	1,91	2,88	5,20	7,77	5,20	7,77	6,98	10,46	8,28	12,37
80	1,32	1,99	1,99	2,99	5,36	8,01	5,36	8,01	7,2	10,78	8,60	12,80
85	1,36	2,06	2,06	3,09	5,51	8,25	5,51	8,25	7,45	11,16	8,86	13,24
90	1,4	2,13	2,12	3,18	5,65	8,47	5,65	8,47	7,7	11,54	9,16	13,68
95	1,45	2,19	2,18	3,27	5,82	8,71	5,82	8,71	7,89	11,88	9,38	14,07
100	1,49	2,25	2,24	3,37	5,99	8,98	5,99	8,98	8,14	12,21	9,68	14,46
105	1,54	2,32	2,31	3,46	6,15	9,21	6,15	9,21	8,39	12,56	9,96	14,88
110	1,59	2,38	2,37	3,55	6,33	9,48	6,33	9,48	8,59	12,87	10,20	15,25
115	1,61	2,43	2,43	3,64	6,47	9,71	6,47	9,71	8,79	13,19	10,45	15,63
120	1,65	2,49	2,49	3,73	6,62	9,93	6,62	9,93	9,01	13,51	10,71	16,01
125	1,7	2,55	2,55	3,81	6,79	10,18	6,79	10,18	9,21	13,81	10,94	16,36
130	1,73	2,6	2,62	3,91	6,89	10,36	6,89	10,36	9,4	14,05	11,19	16,70

Tabla A12.2 Datos de tensión del instrumento Patrón Fluke y ADE7763 No 1 sin calibrar

Primera Prueba		Segunda Prueba			Tercera Prueba	
ADE (V)	Multim (V)	Variac (V)	ADE (V)	FLUKE (V)	ADE (V)	FLUKE (V)
6,88	4,90	0	6,56	0,39	6,54	0
10,59	9,90	5	7,23	5,33	6,57	0,6
15,57	15,10	10	10,95	10,24	6,54	1,2
20,40	19,90	15	15,58	15,2	6,46	2
25,32	25,10	20	20,38	20,1	6,71	3,1
30,14	30,00	25	25,28	25,3	6,92	5,1
35,39	35,10	30	29,77	29,74	8,99	7,6
39,31	39,90	35	34,91	35,04	11,60	10,3
45,05	45,20	40	40,45	40,59	12,80	12,5
50,06	50,10	45	45,38	45,38	20,50	20,2
54,58	55,10	50	50,62	50,78	16,11	17,24
59,77	60,10	55	55,29	55,22	17,33	19,24
64,39	65,00	60	59,54	60,6	18,56	21,23
69,94	70,10	65	65,24	65,2	19,79	23,23
75,24	75,20	70	70,21	70,05	21,01	25,23
79,80	80,20	75	74,27	74,93	22,24	27,22
84,89	85,10	80	81,29	80,62	23,47	29,22
89,82	90,50	85	85,54	85,55	24,69	31,21
94,94	95,00	90	89,01	90,15	25,92	33,21
100,26	100,00	95	94,9	94,9	27,15	35,21
104,55	105,10	100	99,94	100,6	28,37	37,20
109,72	109,90	105	105,53	105,31	29,60	39,20
114,97	115,40	110	110,54	110,34	30,82	41,20
119,64	120,00	115	115,24	115,6	32,05	43,19
126,57	125,20	120	121,18	120,42	33,28	45,19
131,53	130,10	125	124,51	124,87	34,50	47,19
135,89	135,20	130	131,7	130,55	35,73	49,18

Tabla A12.3 Datos de corriente y tensión del instrumento Patrón Fluke y ADE7763 No 2 sin calibrar

5 espiras				3 espira			
ADE (V)	FLUKE (V)	ADE (A)	FLUKE (A)	ADE (V)	FLUKE (V)	ADE (A)	FLUKE (A)
132,03	130,95	10,37	8,82	130,53	130,02	6,22	5,2
126,67	125,43	10,13	8,58	125,75	125,67	6,08	5,1
120,75	120,15	9,88	8,37	120,51	120,82	5,96	4,99
114,94	115,64	9,7	8,21	115,27	115,38	5,814	4,88
110,12	110,16	9,45	8	110,4	110,13	5,66	4,77
104,59	105,59	9,23	7,82	104,57	105,53	5,53	4,67
101,16	100,52	8,96	7,6	100,41	100,37	5,38	4,56
94,76	95,38	8,73	7,39	95,32	95,67	5,24	4,46
90,04	90,3	8,46	7,17	91,32	90,85	5,1	4,35
85,83	85,55	8,22	6,97	85,71	85,28	4,92	4,21
80,35	80,52	7,94	6,72	80,89	80,22	4,76	4,09
75,22	75,1	7,64	6,48	74,65	75,38	4,6	3,97
69,68	70,28	7,35	6,24	70,84	70,72	4,48	3,84
65,91	65,65	7,1	6,02	65,54	65,53	4,34	3,76
59,69	60,49	6,78	5,75	60,55	60,54	4,24	3,65
55,26	55,08	6,45	5,47	55,56	55,55	4,1	3,53
50,13	50,08	6,12	5,19	50,57	50,55	4	3,42
44,35	45,38	5,79	4,91	45,58	45,56	3,98	3,31
39,9	40,23	5,44	4,62	40,59	40,57	3,95	3,20
34,68	35,33	5,07	4,3	35,60	35,58	3,85	3,08

Tabla A12.4 Datos de corriente y tensión del instrumento Patrón Fluke y ADE7763 No 3 sin calibrar

1 espira				3 espiras			
ADE (V)	FLUKE (V)	ADE (A)	FLUKE (A)	ADE (V)	FLUKE (V)	ADE (A)	FLUKE (A)
0	1,44	0,47	0,5	40,17	40,67	2,78	2,81
10,75	10,38	0,5	0,67	49,56	50,64	3,14	3,16
20,27	20,1	0,66	0,75	60,44	60,65	3,46	3,47
30,74	30,73	0,81	0,92	70,02	70,53	3,76	3,77
4,46	40,58	0,93	1,03	79,53	8,12	4,02	4,04
50,01	50,11	1,04	1,13	90,64	90,74	4,31	4,32
59,97	60,73	1,16	1,24	100,52	100,17	4,55	4,56
70,22	70,68	1,26	1,33	104,52	105,17	4,68	4,69
80,22	80,19	1,35	1,41	111,65	110,87	4,82	4,82
90,71	90,1	1,44	1,49	115,38	115,73	4,93	4,94
100,35	100,52	1,53	1,58	119,85	120,06	5,03	5,04
104,45	105,56	1,57	1,62	124,92	125,4	5,15	5,16
109,05	110,43	1,61	1,66	131,91	130,64	5,27	5,28
116,44	115,43	1,65	1,7	145,28	144,83	5,71	5,72
120,23	120,52	1,69	1,73	152,86	153,11	5,92	5,92
125,67	125,04	1,72	1,77	160,44	161,39	6,12	6,12
131,93	130,95	1,77	1,81	168,01	169,67	6,32	6,32

Tabla A12.5 Datos de corriente y tensión del instrumento Patrón Fluke y ADE7763 No 3 sin calibrar

6 espiras				11 espiras			
ADE (V)	FLUKE (V)	ADE (A)	FLUKE (A)	ADE (V)	FLUKE (V)	ADE (A)	FLUKE (A)
39,97	40,47	5,52	5,55	40,65	40,25	10,04	10,1
49,67	50,38	6,22	6,22	50,27	50,97	11,42	11,4
59,91	60,17	6,84	6,84	60,59	60,5	12,54	12,61
70,3	70,71	7,5	7,5	70,32	70,22	13,64	13,7
79,84	80,12	8,3	8,03	80,56	80,46	14,71	14,77
90,2	90,59	8,59	8,59	90,57	90,46	15,65	15,72
99,5	100,61	9,09	9,09	101,34	100,71	16,63	16,68
105,39	105,4	9,34	9,34	104,51	105,18	17,03	17,09
110,67	110,66	9,58	9,58	110,61	110,51	17,49	17,55
116,66	115,5	9,84	9,83	116,01	115,69	17,93	18
120,7	12,81	10,08	10,07	119,11	120,5	18,37	18,44
125,74	125,58	10,28	10,28	123,96	125,68	18,76	18,84
131,5	130,79	10,53	1,51	129,19	130,25	19,14	19,21
145,72	120,24	11,43	8,64	143,86	144,91	20,81	20,89
153,35	125,40	11,83	8,75	151,25	152,40	21,55	21,64
160,98	130,56	12,24	8,86	158,64	159,90	22,29	22,38
168,61	135,72	12,64	8,97	166,02	167,40	23,03	23,12

Tabla A12.6 Datos de corriente y tensión del instrumento Patrón Fluke y ADE7763 No 4 sin calibrar

ADE (V)	FLUKE (V)	ADE (A)	FLUKE (A)
112,13	130,82	2,04	1,82
109,16	125,48	2	1,78
104,66	120,47	1,95	1,74
100,88	115,63	1,91	1,71
95,71	110,3	1,86	1,66
90,57	105,93	1,82	1,63
87,51	100,44	1,76	1,59
82,7	95,44	1,72	1,55
78,62	90,45	1,67	1,51
73,9	85,11	1,61	1,46
70,4	80,36	1,56	1,42
65,71	75,27	1,52	1,39
61,42	70,23	1,47	1,35
57,12	65,20	1,43	1,31
52,83	60,16	1,38	1,27
48,53	55,12	1,33	1,23
44,24	50,09	1,28	1,19

Tabla A12.7 Ecuaciones de calibración de tensión de los ADE7763

Prueba	**Ecuación de calibración tensión ADE No 1**	**Ecuación de calibración tensión ADE No 2**	**Ecuación de calibración tensión ADE No 3**	**Ecuación de calibración tensión ADE No 4**
Una espira	y = 0,0326x + 1,5623	y = 1,9963x - 1,3687	y = 1,1655x + 1,7895	y = 1,8956x + 0,096
Dos espiras	y = 1,0026x + 0,2347	y = 1,0236x + 0,5963	y = 1,5894x - 1,3597	y = 1,0025x + 0,2574
Tres espiras	y = 1,7852x - 0,5623	y = 0,8763x - 0,1478	y = 1,6945x + 1,3002	y = 1,8629x - 0,1314
Cuatro espiras	y = 0,4563x - 0,0036	y = 1,4789x - 0,2589	y = 1,2987x - 0,1349	y = 1,1345x + 0,9569
Cinco espiras	y = 1,1230x - 0,1598	y = 1,1236x + 0,1136	y = 0,5198x + 1,8385	y = 1,2694x + 0,9475
Seis espiras	y = 1,6548x + 0,0369	y = 1,2670x + 1,3470	y = 1,7849x - 0,6852	y = 1,4529x - 0,1091
Siete espiras	y = 1,9514x + 0,1563	y = 1,1207x + 0,2308	y = 1,4194x + 0,5257	y = 1,5648x + 0,9846
Ocho espiras	y = 1,3698x + 0,0357	y = 1,7989x - 0,6378	y = 1,8270x +0,0130	y = 0,9874x -0,2454
Nueve espiras	y = 1,0456x - 0,1520	y = 1,1536x - 0,3522	y = 0,8461x - 0,1658	y = 1,3687x + 0,0585
Diez espiras	y = 1,1478x - 0,2697	y = 0,6398x + 0,8574	y = 1,2005x - 0,7298	y = 1,1470x + 1,6987
Once espiras	**y = 1,0032x + 0,2907**	**y= 0.9890x+0.9988**	**y=1.0135x-0.9383**	**y=1.1725x-1.7651**

Tabla A12.8 Ecuaciones de calibración de corriente de los ADE7763

Prueba	**Ecuación de calibración corriente ADE No 1**	**Ecuación de calibración corriente ADE No 2**	**Ecuación de calibración corriente ADE No 3**	**Ecuación de calibración corriente ADE No 4**
Una espira	y = 1,5185x - 0,0137	y = 1,3715x - 0,0587	y = 1,0565x + 0,7897	y = 0,3214x + 0,9652
Dos espiras	y = 1,4921x + 0,0278	y = 1,5896x + 0,0325	y = 0,3698x - 0,5025	y = 1,8526x + 0,7485
Tres espiras	y = 1,4726x + 0,0599	y = 1,4696x - 0,0677	y = 1,8526x + 0,0983	y = 1,9685x - 0,1425
Cuatro espiras	y = 1,5082x - 0,0381	y = 1,4262x - 0,0258	y = 1,6547x - 0,8557	y = 0,5926x + 0,5289
Cinco espiras	y = 1,4921x + 0,0238	y = 1,384x + 0,0454	y = 1,5647x + 0,0356	y = 1,4815x + 0,5948
Seis espiras	y = 1,5489x - 0,2321	y = 1,5927x + 0,0254	y = 1,9631x - 0,1598	y = 1,2659x - 0,0895
Siete espiras	y = 1,5029x + 0,0005	y = 1,4499x + 0,0589	y = 1,1156x + 0,6897	y = 1,7842x + 0,3486
Ocho espiras	y = 1,5197x - 0,1280	y = 1,36187x - 0,0108	y = 1,2159x +0,0569	y = 1,0269x -0,1594
Nueve espiras	y = 1,4944x + 0,0374	y = 1,0484x - 0,0072	y = 1,3698x - 0,0007	y = 1,8741x + 0,2563
Diez espiras	y = 1,4920x + 0,0252	y = 0,9412x + 0,0021	y = 1,8642x - 0,1092	y = 1,0589x + 0,1526
Once espiras	**y = 1,4905x +0,0093**	**y= 0.8467x+0.0085**	**y=1.0043x-0.0085**	**y=0.8253x+0.1314**

Figura A12.1 Gráfica Regresión lineal y Ecuación para calibrar tensión del ADE 7763 No 1

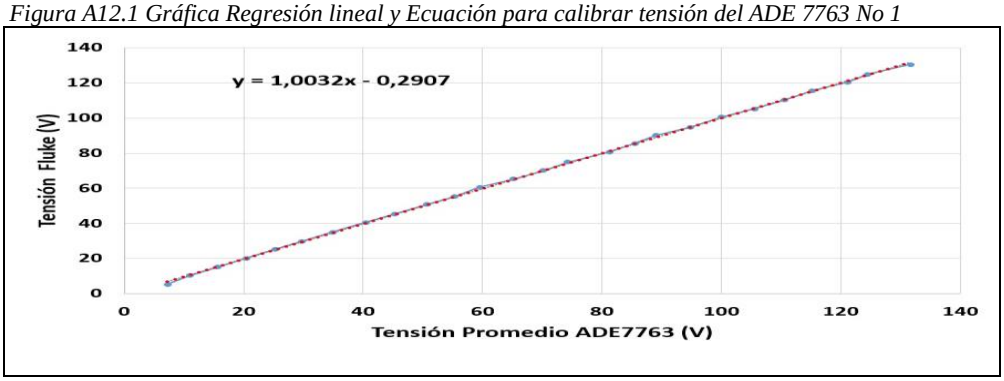


Figura A12.2 Gráfica Regresión lineal y Ecuación para calibrar tensión del ADE 7763 No 2

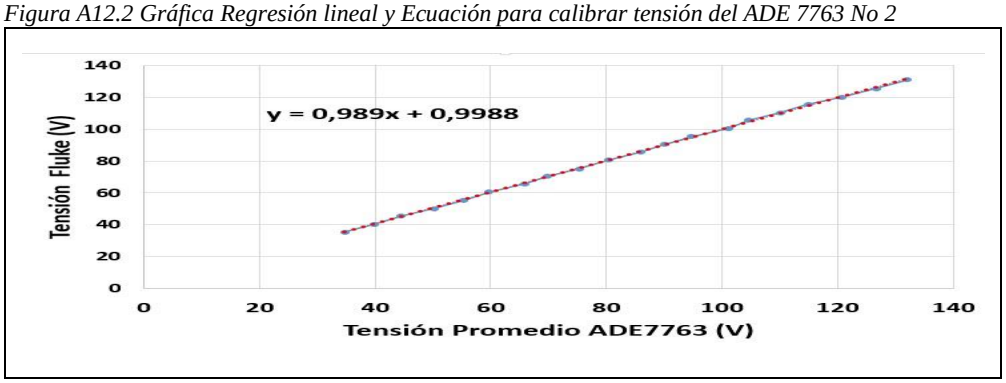


Figura A12.3 Gráfica Regresión lineal y Ecuación para calibrar tensión del ADE 7763 No 3

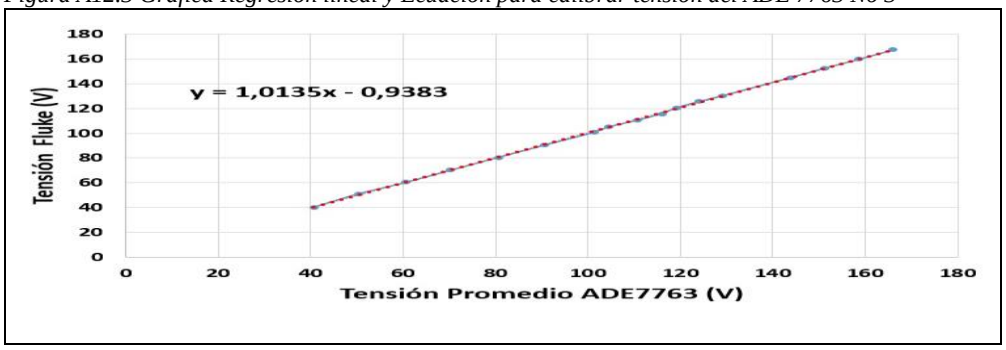


Figura A12.4 Gráfica Regresión lineal y Ecuación para calibrar tensión del ADE 7763 No 4

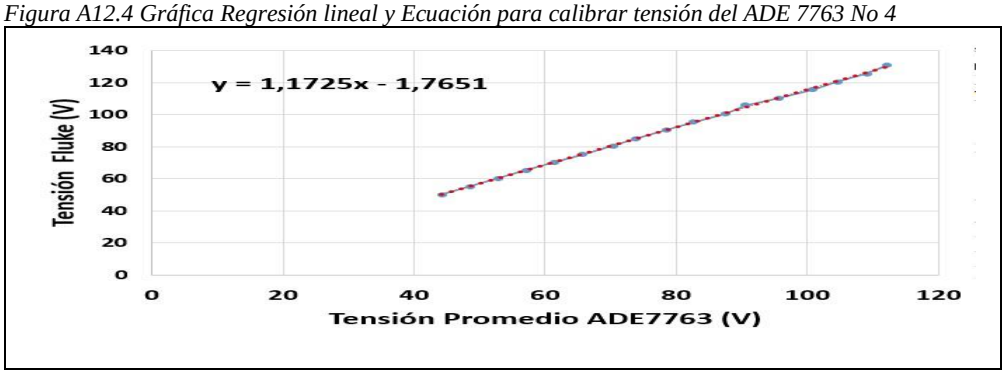


Figura A12.5 Gráfica Regresión lineal y Ecuación para calibrar corriente del ADE 7763 No 2

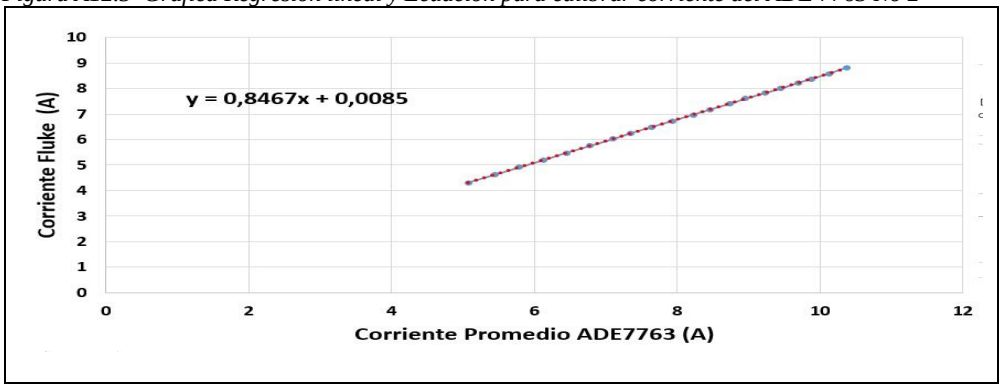


Figura A12.6 Gráfica Regresión lineal y Ecuación para calibrar corriente del ADE 7763 No 3

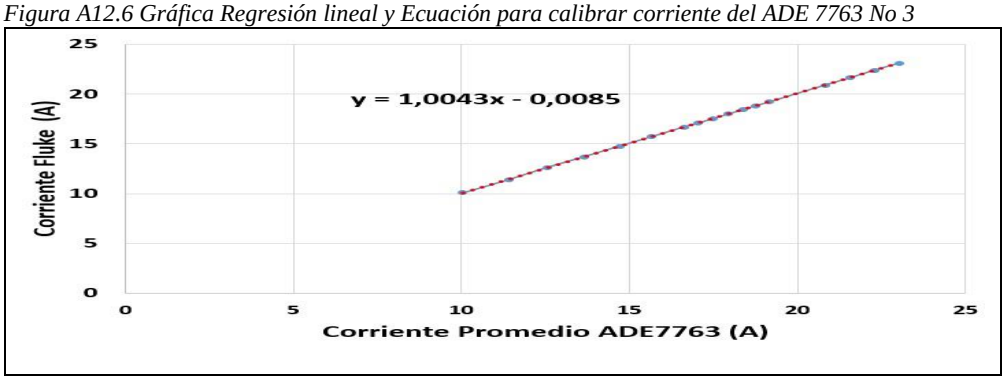


Figura A12.7 Gráfica Regresión lineal y Ecuación para calibrar corriente del ADE 7763 No 4

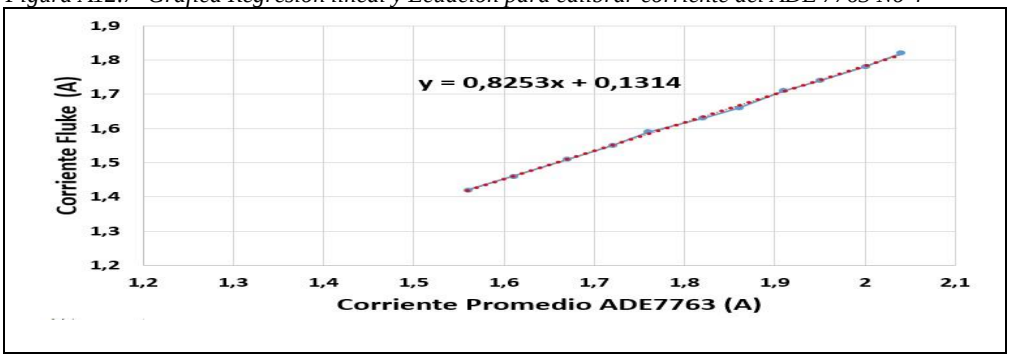


Tabla A12.9 Cálculo de constante para convertir las unidades del ADE en energía de acuerdo al instrumento Patrón Fluke

ADE7763 No 1			ADE7763 No 2		
ADE (Unid)	FLUKE (Wh)	Cálculo Constante	ADE (Unid)	FLUKE (Wh)	Cálculo Constante
7960647	352	22615,4744	3050760	15	203384,0093
8166794	361	22622,6981	3702070	17	217768,8147
8352913	369	22636,6206	4616449	22	209838,6036
8540235	377	22653,1432	5350499	26	205788,4100
8673890	383	22647,2324	6555528	30	218517,5900
8763603	388	22586,6057	6975591	32	217987,2075
8868886	391	22682,5729	8201835	39	210303,4610
8938883	395	22630,0835	9160767	43	213041,0823
9208647	407	22625,6683	10433685	48	217368,4279
9321909	412	22639,7312	11356550	54	210306,4831
9464636	418	22640,8635	18493377	88	210152,0115
9607362	424	22641,9624	19681434	93	211628,3205
9750088	431	22643,0292	22276065	110	202509,6818
9892815	437	22644,0652	24291519	115	211230,5957
10035541	443	22645,0720	25019203	118	212027,1465
10178267	449	22646,0505	25842357	123	210100,4628
10320994	456	22647,0021	30040865	141	213055,7787
10463720	462	22647,9278	46822167	225	208098,5204
10891899	481	22650,5597	56458156	267	211453,7691
11034626	487	22651,3918	59455878	285	208617,1167
11177352	493	22652,2026	63641657	303	210038,4717
11320078	500	22652,9931	66963973	317	211242,8168
PROMEDIO		22642,8700			211376,5536

Tabla A12.10 Porcentaje de error después de calibrar las mediciones del ADE7763 No 1

	ADE7763 No 1											
	Una espira						Once espiras					
Variac (V)	ADE (V)	FLUKE (V)	Error (%)	ADE (A)	FLUKE (A)	Error (%)	ADE (V)	FLUKE (V)	Error (%)	ADE (A)	FLUKE (A)	Error (%)
40	39,83	40,15	0,80	0,93	0,93	0,00	40,24	40,44	0,49	10,22	10,21	0,10
45	45,15	45,08	0,16	1	1	0,00	46,19	46,21	0,04	10,77	10,77	0,00

50	49,85	50,63	1,54	1,06	1,06	0,00	50,12	50,34	0,44	11,5	11,5	0,00
55	55,01	55,67	1,19	1,11	1,12	0,89	55,69	56,06	0,66	12,14	12,14	0,00
60	60,34	60,3	0,07	1,16	1,17	0,85	60,32	60,1	0,37	12,62	12,62	0,00
65	65,38	65,4	0,03	1,22	1,22	0,00	65,13	65,12	0,02	13,18	13,18	0,00
70	70,39	70,32	0,10	1,26	1,27	0,79	70,01	70,47	0,65	13,76	13,76	0,00
75	75,09	75,76	0,88	1,31	1,32	0,76	75,68	75,74	0,08	14,31	14,31	0,00
80	80,59	80,2	0,49	1,35	1,36	0,74	80,45	80,9	0,56	14,84	14,84	0,00
85	85,63	85,2	0,50	1,4	1,4	0,00	85,37	85,85	0,56	15,31	15,31	0,00
90	89,31	90,45	1,26	1,44	1,45	0,69	89,37	90,14	0,85	15,83	15,83	0,00
95	95,7	95,58	0,13	1,48	1,49	0,67	94,84	95,6	0,79	16,29	16,29	0,00
100	99,77	99,79	0,02	1,52	1,53	0,65	100,84	100,23	0,61	16,7	16,7	0,00
110	110,88	110,94	0,05	1,61	1,62	0,62	111,24	110,63	0,55	17,64	17,64	0,00
115	115,79	114,81	0,85	1,64	1,65	0,61	115,48	115,8	0,28	18,09	18,1	0,06
120	121,06	120,8	0,22	1,68	1,7	1,18	119,02	120,15	0,94	18,49	18,49	0,00
125	125,36	125,24	0,10	1,72	1,73	0,58	126,14	125,22	0,73	18,87	18,88	0,05
Prom			**0,52**			**0,51**			**0,47**			**0,01**

Tabla A12.11 Porcentaje de error después de calibrar las mediciones de los ADE7763 No 2 y No 3

ADE7763 No 2						ADE7763 No 3					
ADE (V)	FLUKE (V)	Error (%)	ADE (A)	FLUKE (A)	Error (%)	ADE (V)	FLUKE (V)	Error (%)	ADE (A)	FLUKE (A)	Error (%)
40,67	40,66	0,02	2,77	2,77	0,00	40,84	40,69	0,37	5,55	5,56	0,18
45,6	45,66	0,13	2,95	2,95	0,00	45,71	45,7	0,02	5,92	5,93	0,17
49,74	49,91	0,34	3,1	3,1	0,00	50,65	50,2	0,90	6,21	6,22	0,16
59,24	60,18	1,56	3,43	3,43	0,00	60,02	60,01	0,02	6,87	6,89	0,29
65,78	65,36	0,64	3,59	3,59	0,00	66,16	66,88	1,08	7,24	7,26	0,28
70,88	70,21	0,95	3,74	3,74	0,00	71,06	70,77	0,41	7,55	7,56	0,13
75,87	75,6	0,36	3,89	3,9	0,26	74,96	75,24	0,37	7,78	7,8	0,26
80,59	80,71	0,15	4,03	4,04	0,25	81,28	80,7	0,72	8,08	8,11	0,37
91,1	90,77	0,36	4,29	4,31	0,46	90,51	90,78	0,30	8,63	8,65	0,23
95,69	95,39	0,31	4,42	4,43	0,23	94,11	95,5	1,46	8,87	8,89	0,22
99,82	100,19	0,37	4,55	4,56	0,22	101,27	100,46	0,81	9,11	9,15	0,44
106,07	105,76	0,29	4,67	4,68	0,21	105,3	105,2	0,10	9,35	9,37	0,21
110,97	110,54	0,39	4,79	4,81	0,42	111,11	110,3	0,73	9,52	9,63	1,14
115,3	115,86	0,48	4,91	4,93	0,41	115,11	115,6	0,42	9,84	9,86	0,20
119,27	120,89	1,34	5,03	5,04	0,20	119,69	120,35	0,55	10,07	10,1	0,30
124,04	125,74	1,35	5,14	5,16	0,39	125,38	125,14	0,19	10,3	10,33	0,29
129,57	130,38	0,62	5,25	5,26	0,19	131,77	130,98	0,60	10,56	10,5	0,57
Prom		0,53			0,18			0,57			0,31

APENDICE 13. PRUEBAS DE COMUNICACIÓN PARA GEDE-CFA y GEDE SCC

Tabla A13.12 Tiempo de respuesta del módulo GEDE-SCC

	GEDE-SCC Salida 1	GEDE-CFA		GEDE-SCC Salida 2	GEDE-CFA		GEDE-SCC Salida 3	GEDE-CFA		GEDE-SCC Salida 4	GEDE-CFA	
No	Encend	Apag	Conmut	Encend	Apag	Conmut	Encend	Apag	Conmut	Encend	Apag	Conmut
1	0,1	0,1	0,01	0,2	0,2	0,02	0,1	0,1	0,02	0,2	0,2	0,01
2	0,2	0,1	0,03	0,1	0,1	0,01	0,1	0,1	0,02	0,1	0,1	0,02
3	0,2	0,2	0,01	0,1	0,1	0,02	0,2	0,1	0,01	0,3	0,1	0,01
4	0,1	0,1	0,01	0,2	0,1	0,02	0,2	0,2	0,01	0,2	0,1	0,01
5	0,1	0,1	0,02	0,2	0,2	0,02	0,1	0,1	0,02	0,2	0,2	0,01
6	0,2	0,1	0,02	0,2	0,3	0,03	0,1	0,1	0,01	0,2	0,2	0,02
7	0,2	0,2	0,03	0,1	0,1	0,01	0,2	0,1	0,01	0,1	0,1	0,02
8	0,1	0,1	0,01	0,1	0,1	0,01	0,2	0,2	0,01	0,1	0,3	0,02
9	0,1	0,1	0,04	0,2	0,1	0,02	0,1	0,1	0,01	0,2	0,1	0,01
10	0,2	0,1	0,02	0,2	0,2	0,02	0,1	0,1	0,01	0,3	0,2	0,01
11	0,2	0,2	0,03	0,2	0,3	0,02	0,3	0,1	0,03	0,2	0,2	0,02
12	0,1	0,1	0,04	0,1	0,1	0,01	0,2	0,2	0,02	0,1	0,3	0,01
13	0,1	0,1	0,02	0,1	0,2	0,01	0,1	0,1	0,02	0,1	0,1	0,01
14	0,2	0,1	0,03	0,2	0,1	0,03	0,1	0,1	0,02	0,2	0,1	0,03
15	0,2	0,2	0,01	0,2	0,2	0,01	0,2	0,1	0,01	0,2	0,2	0,01
16	0,1	0,1	0,02	0,2	0,2	0,03	0,2	0,2	0,03	0,2	0,3	0,01
17	0,1	0,1	0,01	0,3	0,1	0,01	0,1	0,1	0,01	0,1	0,1	0,02
18	0,2	0,1	0,02	0,1	0,1	0,03	0,1	0,1	0,03	0,3	0,1	0,02
19	0,2	0,2	0,03	0,3	0,1	0,01	0,2	0,1	0,02	0,2	0,1	0,02
20	0,1	0,1	0,01	0,2	0,2	0,03	0,2	0,2	0,02	0,2	0,2	0,02
Prom	0,15	0,12	0,021	0,175	0,155	0,0185	0,155	0,125	0,017	0,185	0,165	0,0155

Tabla A13.13 Tiempo de respuesta en aplicación web

	GEDE-SCC Salida 1		GEDE-CFA	GEDE-SCC Salida 2		GEDE-CFA	GEDE-SCC Salida 3		GEDE-CFA	GEDE-SCC Salida 4		GEDE-CFA
No	Encend	Apag	Conmut	Encend	Apag	Conmut	Encend	Apag	Conmut	Encend	Apag	Conmut
1	2	0,1	3	1,5	2,4	2	1,3	2,2	0,3	2,3	2,2	2
2	3,2	2,1	2	2,3	2,2	0,2	3,5	1,5	0,1	1,5	3,5	3
3	0,5	2	2	1,5	3,5	0,2	3,5	3,1	2	0,5	2	0,1
4	0,3	2,2	1	1,3	2,2	3	3,5	4,8	0,5	1,3	2,2	5
5	2,5	0,5	0,1	3,5	1,5	0,1	1,3	2,2	2	3,5	1,5	0,1
6	3,5	2,8	0,1	2,5	3,1	0,2	3,5	1,5	0,2	1,5	2,4	0,5
7	1,5	2,4	0,3	3,5	4,8	0,2	2,3	2,2	0,5	2,3	2,2	5
8	2,3	2,2	2	1,3	2,2	1	1,5	3,5	5	1,5	3,5	0,1
9	3,5	3,5	5	3,5	1,5	0,2	0,5	2	0,1	1,3	2,2	3
10	1,3	2,2	0,2	2,5	3,1	0,5	1,5	2,4	5	4,5	1,5	0,2

11	3,5	1,5	0,3	3,5	5,8	8	2,3	2,2	0,1	3,5	3,1	0,3
12	3,5	3,1	0,4	2,3	2,2	0,1	3,5	3,5	3	3,5	2,8	2
13	3,5	2,8	3	1,5	3,5	5	1,3	2,2	0,1	1,3	1,2	0,2
14	1,5	2,4	0,3	0,5	2	0,1	3,5	1,5	0,1	3,5	1,5	1
15	2,3	2,2	0,1	1,3	2,2	0,5	1,5	3,1	0,2	2,5	3,1	0,4
16	2,5	3,5	0,2	3,5	1,5	2	3,5	2,8	1	3,5	4,8	3
17	1,5	2	0,1	1,5	3,5	0,3	1,5	3,5	0,3	2,3	2,2	0,1
18	1,3	2,2	0,5	1,5	2	0,1	1,3	2,2	2	1,5	3,5	0,3
19	2,5	1,5	2	1,5	3,5	5	1,5	3,5	2	1,5	2	1,5
20	3,5	2,8	0,1	1,3	2,2	0,5	2,5	2	2	0,3	2,2	3
Promedio	2,31	2,2	1,135	2,09	2,745	1,46	2,24	2,595	1,325	2,18	2,48	1,54

Tabla A13.14 Tiempo de respuesta del control de encendido o apagado y la conmutación

	Tiempo GEDE-SCC (s)		Tiempo GEDE-CFA (s)
	Encender	Apagar	Conmutación
GEDE-SCC – Salida 1	0,150	0,125	0,021
GEDE-SCC – Salida 2	0,175	0,155	0,0185
GEDE-SCC – Salida 3	0,155	0,125	0,017
GEDE-SCC – Salida 4	0,185	0,165	0,0155

Tabla A13.15 Tiempo de respuesta control semiautomático

	GEDE-SCC Salida 2		GEDE-CFA		GEDE-SCC Salida 3		GEDE-CFA		GEDE-SCC Salida 4		GEDE-CFA	
Periodos	Encend	Apag	Encend	Apag	Encend	Apag	Encend	Apag	Encend	Apag	Encend	Apa
6:00 – 6:15 am	1	0,8	0,03	0,02	0,2	0,1	0,03	0,02	2	0,2	0,02	0,03
6:30 – 6:45 am	0,1	1	0,01	0,03	0,1	0,1	0,01	0,03	1	0,3	0,03	0,01
7:00 – 7:15 am	2	1	0,02	0,02	0,2	0,1	0,02	0,01	0,1	0,1	0,02	0,01
7:30 – 7:45 am	0,2	0,1	0,03	0,03	0,2	0,2	0,03	0,01	0,2	2	0,03	0,02
8:00 – 8:15 am	1	0,2	0,02	0,01	0,1	0,1	0,01	0,03	0,2	0,2	0,01	0,03
8:30 – 8:45 am	0,2	0,2	0,03	0,01	0,1	0,2	0,02	0,01	0,2	2	0,01	0,02
9:00 – 9:15 am	1	0,2	0,01	0,03	0,2	0,1	0,03	0,02	0,1	0,1	0,01	0,01
9:30 – 9:45 am	0,1	0,1	0,02	0,02	0,2	0,2	0,01	0,03	1	2	0,01	0,02
10:00–10:30 am	1	0,2	0,03	0,03	0,1	0,2	0,02	0,01	0,2	0,1	0,02	0,02
10:30–10:45 am	0,2	0,2	0,01	0,01	0,1	0,1	0,01	0,01	0,3	0,2	0,01	0,01
Promedio	0,68	0,4	0,021	0,021	0,15	0,14	0,019	0,018	0,53	0,72	0,017	0,018

APENDICE 14. PRUEBAS DE OPERACION PARA GEDE-CFA y GEDE SCC

Tabla A14.16 Operación control manual GEDE-SCC

	Tiempo GEDE-SCC (s)	
	Encender	Apagar
GEDE-SCC – Salida 1	1,26	0,98
GEDE-SCC – Salida 2	1,09	1,05
GEDE-SCC – Salida 3	1,08	1,24
GEDE-SCC – Salida 4	1,25	1,15

Tabla A14.17 Prueba operación del módulo GEDE-CFA con cargas pequeñas

Un Cargador						
	Tensión			Corriente		
Conmutación	SI (V)	GD (V)	Diferencia (V)	SI (A)	GD (A)	Diferencia (A)
SI a GD	120,21	122,59	1,38	0,05	0,06	0,01
GD a SI	120,87	122,9	2,03	0,05	0,05	0,00
SI a GD	120,9	123,06	2,16	0,05	0,06	0,01
GD a SI	120,58	122,87	1,29	0,05	0,06	0,01
SI a GD	120,65	122,17	1,52	0,05	0,05	0,00
GD a SI	120,88	123,79	2,91	0,06	0,05	0,01
SI a GD	120,19	122,24	1,05	0,05	0,06	0,01
Promedio			**1,76**			**0,01**
Dos cargadores						
Conmutación	SI (V)	GD (V)	Diferencia (V)	SI (A)	GD (A)	Diferencia (A)
SI a GD	120,68	122,58	1,9	0,10	0,12	0,02
GD a SI	120,89	122,34	1,45	0,11	0,10	0,01
SI a GD	120,73	123,29	2,56	0,11	0,11	0,00
GD a SI	120,92	122,08	1,16	0,12	0,12	0,00
SI a GD	120,06	122,62	2,56	0,11	0,12	0,01
GD a SI	120,03	123,07	2,04	0,12	0,12	0,00
SI a GD	120,99	122,73	1,74	0,11	0,12	0,01
Promedio			**1,92**			**0,12**
Tres cargadores						
Conmutación	SI (V)	GD (V)	Diferencia (V)	SI (A)	GD (A)	Diferencia (A)
SI a GD	120,25	123,03	2,78	0,16	0,16	0,00
GD a SI	120,40	122,65	2,25	0,15	0,16	0,01
SI a GD	120,49	122,19	1,70	0,16	0,16	0,00
GD a SI	120,74	122,73	1,99	0,17	0,17	0,00
SI a GD	120,21	123,07	0,86	0,17	0,17	0,00
GD a SI	120,45	122,34	1,89	0,16	0,17	0,01
SI a GD	120,58	122,91	2,33	0,17	0,16	0,01
Promedio			**1,97**			**0,16**

Tabla A14.18 Prueba operación del módulo GEDE-CFA con cargas de iluminación

	LED 4,7 W						
Conmutación	SI (V)	GD (V)	Diferencia (V)	SI (A)	GD (A)	Diferencia (A)	Destello
SI a GD	120,66	122,67	2,01	0,04	0,03	0,01	No
GD a SI	120,35	122,03	1,68	0,03	0,04	0,01	No
SI a GD	120,76	122,9	2,14	0,04	0,05	0,01	No
GD a SI	119,71	121,54	1,83	0,04	0,04	0,00	No
SI a GD	120,93	122,34	1,41	0,03	0,04	0,01	No
GD a SI	120,76	121,9	1,14	0,04	0,05	0,01	No
SI a GD	120,35	122,03	1,68	0,04	0,04	0,00	No
Promedio			**1,70**			**0,007**	
	LED 9,5 W						
Conmutación	SI (V)	GD (V)	Diferencia (V)	SI (A)	GD (A)	Diferencia (A)	Destello
SI a GD	120,58	121,92	1,34	0,08	0,09	0,01	No
GD a SI	119,93	122,41	2,48	0,07	0,08	0,01	No
SI a GD	120,37	123,28	2,91	0,09	0,08	0,01	No
GD a SI	120,39	122,4	2,01	0,07	0,08	0,01	No
SI a GD	120,39	121,88	1,49	0,08	0,09	0,01	No
GD a SI	120,43	121,23	0,8	0,07	0,07	0,00	No
SI a GD	119,95	122,05	2,1	0,09	0,08	0,01	No

Promedio			**1,88**			**0,01**	
	FLUORESCENTE COMPACTA 26 W						
Conmutación	SI (V)	GD (V)	Diferencia (V)	SI (A)	GD (A)	Diferencia (A)	Destello
SI a GD	120,31	122,21	1,9	0,2	0,21	0,01	No
GD a SI	119,94	121,99	2,05	0,19	0,22	0,03	No
SI a GD	120,43	123,13	2,7	0,21	0,2	0,01	No
GD a SI	120,17	122,08	1,91	0,2	0,21	0,01	No
SI a GD	120,42	121,79	1,37	0,2	0,21	0,01	No
GD a SI	120,8	122,05	1,25	0,2	0,21	0,01	No
SI a GD	121,03	121,98	0,95	0,2	0,22	0,02	No
Promedio			**1,73**			**0,01**	
	INCANDESCENTE 60 W						
Conmutación	SI (V)	GD (V)	Diferencia (V)	SI (A)	GD (A)	Diferencia (A)	Destello
SI a GD	120,98	120,63	0,35	0,45	0,44	0,01	No
GD a SI	120,52	122,51	1,99	0,45	0,45	0,00	No
SI a GD	119,82	121,31	1,49	0,45	0,44	0,01	No
GD a SI	120,05	122,03	1,98	0,45	0,44	0,01	No
SI a GD	119,95	121,37	1,42	0,44	0,43	0,01	No
GD a SI	119,99	121,31	1,32	0,44	0,43	0,01	No
SI a GD	119,37	120,69	1,32	0,44	0,43	0,01	No
Promedio			**1,41**			**0,01**	

Tabla A14.19 Prueba operación del módulo GEDE-CFA con cargas sensibles a la tensión

	Televisor Led de 32 pulgadas 120W						
Conmutación	SI (V)	GD (V)	Diferencia (V)	SI (A)	GD (A)	Diferencia (A)	Destello
SI a GD	120,84	121,38	0,54	0,22	0,23	0,01	No
GD a SI	120,09	121,59	1,50	0,23	0,22	0,01	No
SI a GD	120,49	121,34	0,85	0,22	0,24	0,02	No
GD a SI	121,17	122,52	1,35	0,23	0,24	0,01	No
SI a GD	120,92	121,03	0,11	0,21	0,24	0,03	No
GD a SI	120,5	121,59	1,09	0,22	0,24	0,02	No
SI a GD	121,3	122,05	0,75	0,24	0,23	0,01	No
Promedio			0,88			0,02	**No**
	Computador de escritorio 50 W						
SI a GD	120,78	122,03	1,25	0,37	0,42	0,05	No
GD a SI	119,11	121,38	2,27	0,45	0,38	0,07	No
SI a GD	120,45	121,34	0,89	0,58	0,55	0,03	No
GD a SI	120,27	122,03	1,76	0,45	0,41	0,04	No
SI a GD	120,92	121,89	0,97	0,63	0,59	0,04	No
GD a SI	120,35	121,49	1,14	0,38	0,5	0,12	No
SI a GD	120,3	122,03	1,73	0,39	0,38	0,01	No
Promedio			1,43			0,05	**No**

APENDICE 15. REQUERIMIENTOS DE LOS ESCENARIOS PROPUESTOS

Tabla A15.1 Requerimientos Escenario 2

Escenario 2.	
Nombre: Escenario de operación del GEDE, con control de operación automática en el circuito de iluminación con generación distribuida fotovoltaica y, para la primera estrategia sin cambios en los hábitos de consumo, y en la segunda estrategia considerando un cambio del 10% menos en los hábitos de consumo durante el periodo de tiempo 18–21 horas en el circuito analizado	**Escena 1:** El UA programa el sistema GEDE con operación de control automática de conmutación en el circuito de iluminación a SPV en el periodo de tiempo comprendido entre las 18 a 21 horas.
Usuarios y/o elementos: - Usuario Activo (UA) - Agregador (AG) - Sistema de Gestión Eléctrica (GEDE) - Sistema Fotovoltaico (SPV)	
Condiciones de Entrada: • Diseño 1 SPV: Capacidad instalada (Panel 80 W, y almacenamiento aprox 840 Wh por día) • Diseño 2 SPV: Capacidad instalada (Paneles 320 W, y almacenamiento aprox 3600 Wh por día) • Datos radiación típica en la ciudad de Bogotá • Energía por atender en el circuito: 491,60 Wh/día • Circuito de iluminación: 15 luminarias (uso aleatorio) • Consumo promedio de la vivienda: 171,01kWh/mes • Tarifa Básica promedio kWh: $438,96 • Estrategia 1: Sin cambios en los hábitos de consumo • Estrategia 2: Cambio en los hábitos de consumo en un 10% en el mismo periodo (18 a 21 horas)	**Escena 2:** Por contrato suscrito con el AG, los excedentes de sistema fotovoltaico se inyectan a la red, pagando como incentivo un 40% del precio de la red **Escena 3:** Se considerará la proyección de los niveles de radiación Bogotá para la Sistema fotovoltaico
Condiciones de Salida en el contexto de GAD: • Valor de la energía generada (SPV) • Porcentaje de ahorro por consumir con energía renovable • Tiempo para recuperar la inversión • Tasa interna de retorno • Cantidad de recursos energéticos que el UA, puede reservar de sistema fotovoltaico • Cantidad en dinero y porcentaje de incentivos recibidos	**Escena 4:** De acuerdo a la capacidad instalada y a su consumo en el periodo de tiempo de 18 a 21 horas, el UA hará una variación adicional en los hábitos de consumo en un 10% del total de su consumo en el mismo periodo

Tabla A15.2 Requerimientos Escenario 3

Escenario 3.	
Nombre: Escenario de operación del GEDE, con control de operación automática, generación distribuida fotovoltaica durante los periodos de tiempo 6–9 y 18–21 horas y, para la primera estrategia sin cambios en los hábitos de consumo, y en la segunda estrategia considerando un cambio del 30% menos en los hábitos de consumo en toda la carga durante todo el día	**Escena 1:** El UA programa el sistema GEDE con operación de control automática de conmutación a todos los circuitos a SPV en los periodos de 6-9 y 18-21 horas
Usuarios y/o elementos: - Usuario Activo (UA) - Agregador (AG) - Sistema de Gestión Eléctrica (GEDE) - Sistema Fotovoltaico (SPV)	

Condiciones de Entrada: • Diseño 3 SPV: Capacidad instalada (Paneles 320 W, y almacenamiento aprox 4800 Wh /día) • Datos radiación típica en la ciudad de Bogotá • Energía por atender en los circuitos: 2671,83 Wh/día • Consumo promedio de la vivienda: 171,01kWh/mes • Tarifa Básica promedio kWh: $438,96 • Estrategia 1: Sin cambios en los hábitos de consumo • Estrategia 2:Cambio en los hábitos de consumo en un 30% menos durante todo el día	**Escena 2:** Por contrato suscrito con el AG, los excedentes de sistema fotovoltaico se inyectan a la red, pagando como incentivo un 40% del precio de la red **Escena 3:** Se considerará la proyección de los niveles de radiación Bogotá para la Sistema fotovoltaico
Condiciones de Salida en el contexto de GAD: • Valor de la energía generada (SPV) • Porcentaje de ahorro por consumir con energía renovable • Tiempo para recuperar la inversión • Tasa interna de retorno • Cantidad de recursos energéticos que el UA, puede reservar de sistema fotovoltaico • Cantidad en dinero y porcentaje de incentivos recibidos.	**Escena 4:** De acuerdo a la capacidad instalada y a su consumo en los periodos de 6-9 y 18-21 horas, el UA hará o no, una variación adicional en los hábitos de un 30% menos durante todo el día

Tabla A15.20 Requerimientos Escenario 4

Escenario 4.	
Nombre: Escenario de operación del GEDE, con control de operación automática, generación distribuida fotovoltaica en los periodos de tiempo 6–9 y 18– 21 horas y, para la primera estrategia sin cambios en la tecnología de algunos dispositivos, y en la segunda estrategia considerando cambios en la tecnología de algunos dispositivos	**Escena 1:** El UA programa el sistema GEDE con operación de control automática de conmutación a todos los circuitos a SPV en los periodos de 6-9 y 18-21 horas
Usuarios y/o elementos: - Usuario Activo (UA) - Agregador (AG) - Sistema de Gestión Eléctrica (GEDE) - Sistema Fotovoltaico (SPV)	
Condiciones de Entrada: • Diseño 3 SPV: Capacidad instalada (Paneles 320 W, y almacenamiento aprox 4800 Wh /día). • Datos radiación típica en la ciudad de Bogotá. • Energía por atender en los circuitos: 2671,82 Wh/día. • Consumo promedio de la vivienda: 171,01kWh/mes • Tarifa Básica promedio kWh: $438,96 • Estrategia 1: Sin cambios tecnología de algunos dispositivos • Estrategia 2: Con cambio tecnología de algunos dispositivos	**Escena 2:** Por contrato suscrito con el AG, los excedentes de sistema fotovoltaico se inyectan a la red, pagando como incentivo un 40% del precio de la red **Escena 3:** Se considerará la proyección de los niveles de radiación Bogotá para la Sistema fotovoltaico
Condiciones de Salida en el contexto de GAD: • Valor de la energía generada (SPV) • Porcentaje de ahorro por consumir con energía renovable • Tiempo para recuperar la inversión • Tasa interna de retorno • Cantidad de recursos energéticos que el UA, puede reservar de sistema fotovoltaico • Cantidad en dinero y porcentaje de incentivos recibidos	**Escena 4:** De acuerdo a la capacidad instalada y a su consumo en los periodos de 6-9 y 18-21 horas el UA hará o no un cambio en tecnología de algunos dispositivos

APENDICE 16. VIABILIDAD DE LA INVERSIÓN DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO Y GEDE

Tabla A16.21 Escenario 1 - Diseño 1: Sin hábitos de consumo

Cuadro resumen Escenario 1 - Diseño 1	Precio	VPN	TIR
20 años	$622	-$1.990.065,92	1%
15 años	$966	-$ 1.649.619,78	1%
10 años	$1709	-$ 1.230.589,51	0%
5 años	$4460	-$ 647.397,34	1%

Tabla A16.22 Escenario 1 - Diseño 1: Con hábitos de consumo

Cuadro resumen Escenario 1 - Diseño 1	Precio	VPN	TIR
15 años	$588	-$1.648.334,25	1%
10 años	$1040	-$ 1.229.521,06	0%
5 años	$2555	-$ 604.808,63	1%

Tabla A16.23 Escenario 1 - Diseño 2: Sin hábitos de consumo

Cuadro resumen Escenario 1 - Diseño 2	Precio	VPN	TIR
20 años	$551	-$ 2.204.612,56	5%
15 años	$749	-$ 1.822.814,26	5%
10 años	$1137	-$ 1.515.455,03	4%
5 años	$2416	-$ 1.335.350,11	0%

Tabla A16.24 Escenario 1 - Diseño 2: Con hábitos de consumo

Cuadro resumen Escenario 1 - Diseño 2	Precio	VPN	TIR
20 años	$463	-$2.201.458,66	5%
15 años	$629	-$1.822.041,00	5%
10 años	$954	-$1.518.807,17	4%
5 años	$2029	-$1.334.306,77	0%

Tabla A16.25 Escenario 2 - Diseño 1: Sin hábitos de consumo

Cuadro resumen Escenario 2- Diseño 1	Precio	VPN	TIR
25 años	$438,96	-$ 2.543.526,99	-1%
20 años	$935	-$ 1.865.978,38	1%
15 años	$1331	-$ 1.649.692,41	1%
10 años	$2355	-$ 1.230.445,64	0%
5 años	$6145	-$ 647.599,32	1%

Tabla A16.26 Escenario 2 - Diseño 1: Con hábitos de consumo

Cuadro resumen Escenario 2 - Diseño 1	Precio	VPN	TIR
15 años	$477	-$ 2.563.681,45	-8%
10 años	$844	-$ 2.369.173,74	-12%
5 años	$2202	-$ 2.098.955,33	-24%

Tabla A16.27 Escenario 2 - Diseño 2: Sin hábitos de consumo

Cuadro resumen Escenario 2 - Diseño 2	Precio	VPN	TIR
25 años	$438,96	-$ 3.456.752,19	3%
20 años	$735	-$ 2.206.080,64	5%
15 años	$999	-$ 1.824.954,13	5%
10 años	$1516	-$ 1.519.331,76	4%
5 años	$3224	-$ 1.335.282,62	0%

Tabla A16.28 Escenario 2 - Diseño 2: Con hábitos de consumo

Cuadro resumen Escenario 2 - Diseño 2	Precio	VPN	TIR
25 años	$438,96	-$ 3.217.989,32	4%
20 años	$678	-$ 2.204.313,44	5%
15 años	$921	-$ 1.825.568,78	5%
10 años	$1398	-$ 1.518.740,55	4%
5 años	$2972	-$ 1.336.424,46	0%

Tabla A16.29 Escenario 3 - Diseño 3: Sin hábitos de consumo

Cuadro resumen Escenario 3 - Diseño 3	Precio	VPN	TIR
20 años	$447	-$ 3.110.292,30	5%
15 años	$607	-$ 2.578.769,98	5%
10 años	$922	-$ 2.142.026,68	4%
5 años	$1961	-$ 1.881.755,54	0%

Tabla A16.30 Escenario 3 - Diseño 3: Con hábitos de consumo

Cuadro resumen Escenario 3 - Diseño 3	Precio	VPN	TIR
15 años	$410	-$ 2.484.812,97	5%
10 años	$614	-$ 2.137.448,84	4%
5 años	$1305	-$ 1.881.891,21	0%

Tabla A16.31 Escenario 4 - Diseño 3: Sin hábitos de consumo

Cuadro resumen Escenario 4 – Diseño 3	Precio	VPN	TIR
20 años	$447	-$ 3.110.292,30	5%
15 años	$607	-$ 2.578.769,98	5%
10 años	$922	-$ 2.142.026,68	4%
5 años	$1961	-$ 1.881.755,54	0%

Tabla A16.32 Escenario 4 - Diseño 3: Con hábitos de consumo

Cuadro resumen Escenario 4 - Diseño 3	Precio	VPN	TIR
15 años	$508	-$ 2.578.281,72	5%
10 años	$772	-$ 2.138.236,60	4%
5 años	$1641	-$ 1.881.920,05	0%

APENDICE 17. PROPUESTA ESTRATEGIA GAD CON SUPUESTO GUBERNAMENTAL

Tabla A17.33 Escenario 1 - Diseño 1: Sin hábitos de consumo

Cuadro resumen Escenario 1 - Diseño 1	VPN	TIR
25 años	-$ 82.514,49	9%
20 años	-$ 237.065,67	7%
15 años	-$ 425.271,85	4%
10 años	-$ 654.461,72	-5%
5 años	-$ 615.477,86	-16%

Tabla A17.34 Escenario 1 - Diseño 1: Con hábitos de consumo

Cuadro resumen Escenario 1 - Diseño 1	VPN	TIR
25 años	$ 637.253,31	15%
20 años	$ 383.156,36	14%
15 años	$ 73.727,35	11%
10 años	-$ 303.082,77	4%
5 años	-$ 254.956,50	4%

Tabla A17.35 Escenario 1 - Diseño 2: Sin hábitos de consumo

Cuadro resumen Escenario 1 - Diseño 2	VPN	TIR
25 años	$ 2.568.702,91	27%
20 años	$ 2.047.481,40	27%
15 años	$ 1.412.758,92	26%
10 años	$ 639.819,56	21%
5 años	-$ 301.434,73	-2%

Tabla A17.36 Escenario 1 - Diseño 2: Con hábitos de consumo

Cuadro resumen Escenario 1 - Diseño 2	VPN	TIR
25 años	$ 3.288.470,72	32%
20 años	$ 2.667.703,43	31%
15 años	$ 1.911.758,13	30%
10 años	$ 991.198,52	27%
5 años	-$ 129.821,74	5%

Tabla A17.37 Escenario 2 - Diseño 1: Sin hábitos de consumo

Cuadro resumen Escenario 2 - Diseño 1	VPN	TIR
25 años	-$ 388.996,99	6%
20 años	-$ 501.160,83	4%
15 años	-$ 536.509,49	2%
10 años	-$ 406.286,95	1%
5 años	-$ 255.107,19	0%

Tabla A17.38 Escenario 2 - Diseño 1: Con hábitos de consumo

Cuadro resumen Escenario 2 - Diseño 1	VPN	TIR
25 años	-$ 150.234,12	9%
20 años	-$ 295.419,50	7%
15 años	-$ 472.220,38	3%
10 años	-$ 406.111,07	1%
5 años	-$ 255.182,91	0%

Tabla A17.7 Escenario 2 - Diseño 2: Sin hábitos de consumo

Cuadro resumen Escenario 2 - Diseño 2	VPN	TIR
25 años	$ 1.624.227,81	22%
20 años	$ 1.233.629,69	21%
15 años	$ 757.975,09	19%
10 años	$ 178.742,16	13%
5 años	-$ 526.624,28	-12%

Tabla A17.8 Escenario 2 - Diseño 2: Con hábitos de consumo

Cuadro resumen Escenario 2 - Diseño 2	VPN	TIR
25 años	$ 1.862.990,68	23%
20 años	$ 1.439.371,02	22%
15 años	$ 923.504,14	21%
10 años	$ 295.302,31	15%
5 años	-$ 255.010,92	0%

Tabla A17.9 Escenario 3 - Diseño 3: Sin hábitos de consumo

Cuadro resumen Escenario 3 - Diseño 3	VPN	TIR
25 años	$ 3.958.678,85	36%
20 años	$ 3.245.220,01	35%
15 años	$ 2.376.398,70	35%
10 años	$ 1.318.383,24	31%
5 años	$ 29.974,81	11%

Tabla A17.10 Escenario 3 - Diseño 3: Con hábitos de consumo

Cuadro resumen Escenario 3 - Diseño 3	VPN	TIR
25 años	$ 8.636.820,53	63%
20 años	$ 7.276.362,41	63%
15 años	$ 5.619.651,54	63%
10 años	$ 3.602.176,05	61%
5 años	$ 1.145.375,99	48%

Tabla A17.11 Escenario 4 - Diseño 3: Sin hábitos de consumo

Cuadro resumen Escenario 4 - Diseño 3	VPN	TIR
25 años	$ 5.346.303,20	44%
20 años	$ 5.540.772,21	51%
15 años	$ 4.223.283,64	51%
10 años	$ 2.618.899,34	49%
5 años	$ 665.145,04	33%

Tabla A17.12 Escenario 4 - Diseño 3: Con hábitos de consumo

Cuadro resumen Escenario 4 - Diseño 3	VPN	TIR
25 años	$ 6.622.667,71	51%
20 años	$ 5.540.772,21	51%
15 años	$ 4.223.283,64	51%
10 años	$ 2.618.899,34	49%
5 años	$ 665.145,04	33%