

MECANISMOS TÉCNICOS DE IMPLEMENTACIÓN DEL MÍNIMO VITAL DE
ENERGÍA ELÉCTRICA EN COLOMBIA



Tesis de Pregrado|

**DAVID STIVEN MARTINEZ MOSQUERA
ISABEL CRISTINA HENRIQUEZ CAMAYO**

Director: Mg. JUAN FERNANDO FLÓREZ MARULANDA

Universidad Del Cauca

**Facultad de Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones
Departamento de Electrónica, Instrumentación y Control
Línea de Automatización y Control
Popayán, Mayo de 2017**

**DAVID STIVEN MARTINEZ MOSQUERA
ISABEL CRISTINA HENRIQUEZ CAMAYO**

**MECANISMOS TÉCNICOS DE IMPLEMENTACIÓN DEL
MÍNIMO VITAL DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN COLOMBIA**

Tesis presentada a la Facultad de Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones de la
Universidad del Cauca para la obtención del título de:

Ingeniero de Electrónica y Telecomunicaciones e Ingeniera en Automática Industrial.

Director:
Mg. JUAN FERNANDO FLÓREZ MARULANDA

Popayán
2017

Agradecimientos

Le agradezco a Dios por haberme acompañado y guiado a lo largo de mi carrera, por ser mi fortaleza en momentos de debilidad y brindarme una vida llena de aprendizajes y experiencias, sobre todo felicidad.

Especialmente le doy gracias a mis padres Lisy Mabel Mosquera y Eduardo Martínez de la Cruz, por apoyarme en todo momento, por los valores que me han inculcado, y haberme dado la oportunidad de tener una excelente educación. Gracias por su constancia, por brindarme sus conocimientos y nunca dejarme caer
– Ya soy ingeniero!

A mis hermanos, hermana y prima por ser parte importante de mi vida. A Jonathan por ser un ejemplo de desarrollo profesional, a Víctor por enseñarme que no importa que camino tomes siempre hay que hacer lo que te haga feliz, a Sofía regalarme su hermosa sonrisa, y Andrea por su apoyo y constancia infinita.

A Daniela Casas, por ser hoy en día más que una amiga un ejemplo de esfuerzo, dedicación, por apoyarme, por sacar lo mejor de mí y particularmente por enseñarme que cada día puede ser mejor.

A Isabel Henríquez – Ponquesito- mi compañera de tesis, porque a pesar de los obstáculos nos supimos sobreponer y sacar adelante todo lo que nos propusimos desde que se nos ocurrió la loca idea, de realizar la tesis juntos aun siendo de carreras distintas.

A mis amigas(os) de la carrera y amigos de la vida, por ser esa familia diferente con la que siempre puedo contar, que no me dejan caer – Nunca los olvidaré.

A mis tías(os), abuelas, abuelo y demás familiares, que siempre están velando por mi salud, por creer en mí, y brindarme siempre calor de hogar.

Gracias Ingeniero Juan Fernando Flórez por creer en Isabel y en mí, por habernos brindado la posibilidad de desarrollar nuestra tesis profesional.

David Stiven Martínez Mosquera.

Agradecimientos

A mis padres por su esfuerzo y dedicación en mi formación, por su apoyo incondicional, su escucha constante, sus consejos y por ser un ejemplo de vida, infinitos agradecimientos por tanto amor. Son maravillosos.

Gracias ita por tu constante escucha y apoyo, sin tu palabra de aliento nada esto sería posible.

A mis hermanas gracias por cuidar de mí y enseñarme tanto, por estar presentes en cada momento llenando mi vida de grandes locuras y alegrías.

A mis pequeños que son el motor de mi vida, cada día es un aprendizaje a su lado, gracias por brindarme tantas alegrías y tanto amor incondicional.

A mi familia adoptiva gracias, no saben lo valioso que es para mí ese espacio en su familia. Especialmente gracias a ustedes tres, mis padres y hermana, por su constante apoyo, por cuidarme y aguantarme.

Muchas veces Dios te da ángeles en la tierra para cuidarte, gracias a cada uno de mis 4 patas por mostrarme el camino a la felicidad a través de sus ojos.

Los Amo.

Agradecimientos especiales a mi compañero de Tesis. Ponquesote, más que mi compañero mi amigo, lamento mis falencias y te agradezco infinitamente por tu apoyo, tu esfuerzo, enseñanzas y principalmente tus locuras. Te quiero.

Al ingeniero Juan Fernando por su tiempo, disposición, conocimientos y ayuda.

Gracias a Dios por ser esa presencia constante que me motiva y me permite conocer más, por iluminarme y darme paz.

Isabel Henríquez Camayo.

Resumen Estructurado

Este trabajo pretende alcanzar los siguientes objetivos:

OBJETIVO GENERAL

Proponer potenciales mecanismos técnicos de implementación del mínimo vital de energía eléctrica en Colombia para estratos socio económicos bajos, en el marco de las Smart Grid.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Diseñar mecanismos técnicos que permitan implementar el mínimo vital de energía eléctrica en estratos socioeconómicos bajos en Colombia.
- Evaluar por simulación un mecanismo técnico que implemente el mínimo vital de energía eléctrica.

Con el fin de cumplir estos objetivos, la monografía se ha dividido en 5 capítulos así:

- En el capítulo 1, se da una introducción a los servicios públicos, se resaltan momentos importantes dentro de la historia, todo esto a nivel mundial y nacional y las leyes y normativas que rigen la prestación de estos servicios, además de una introducción a los sistemas AMI y a los procedimientos de diseño a adoptar para el desarrollo del trabajo de grado.
- En el capítulo 2, se presentan las funcionalidades básicas con las que deben operar los diferentes medidores electrónicos y las falencias de estos con respecto a la medición inteligente, las modalidades de pago, las adaptaciones a trabajar, los requerimientos técnicos, operativos y socioeconómicos y por último los potenciales mecanismos para la implementación del MVE para estratos socioeconómicos bajos en Colombia.
- En el capítulo 3, se exhibe la evaluación del mecanismo y la adaptación propuestos, a través de simulación, evaluación y análisis de las diferentes situaciones, que se pueden presentar en el mecanismo I bajo unas condiciones predeterminadas.
- En el capítulo 4, se presentan las conclusiones del trabajo y las posibilidades de futuros trabajos de investigación con base en este.

Palabras clave: Mínimo vital de energía eléctrica, mecanismos, técnicas de lectura de medición, IEC 62059-21:2002, metodologías de diseño de productos.

Structured abstract

This work aims to achieve the following objectives:

GENERAL OBJECTIVE

Propose potential technical mechanisms to implement the vital minimum of electric energy in Colombia for low socioeconomic strata, within the framework of the Smart Grid.

SPECIFIC OBJECTIVES

- Design technical mechanisms to implement the vital minimum of electric energy in low socioeconomic strata in Colombia.
- Evaluate by simulation a technical mechanism that implements the vital minimum of electrical energy.

In order to reach the mentioned objectives, the monograph is divided into five chapters:

- Chapter 1 presents an introduction to public services by highlighting important moments in history at a global and national level. It also presents the laws and regulations governing the provision of these services, as well as an introduction to AMI systems and the design procedures to be adopted for the development of our work.
- Chapter 2 presents the basic functionalities that the different electronic meters must operate and their failures with respect to smart metering, payment modalities, adaptations to work, technical, operational and socio-economic requirements. Finally, this chapter introduces the potential mechanisms for the implementation of MVE for low socioeconomic strata in Colombia.
- Chapter 3 presents the evaluation and adaptation of the proposed mechanism by simulating, evaluating, and analyzing the different situations that can be presented in mechanism I under predetermined conditions.
- Chapter 4 presents the conclusions of our work and exposes the implications to be taking into account for future research based on this work

Key words: Minimum vital energy, mechanisms, measurement reading techniques, IEC 62059-21: 2002, product design methodologies.

CONTENIDO

Agradecimientos	3
Resumen Estructurado.....	5
Structured abstract.....	6
Lista de ilustraciones.....	10
Lista de tablas.....	11
CAPÍTULO 1.....	11
ANTECEDENTES.....	11
1.1 Origen de los servicios públicos	11
1.2 Aspectos legales y normativos de los mínimos vitales.....	14
1.3 Características de los sistemas de medición inteligentes.....	23
1.4 Metodología.....	25
CAPITULO 2.....	35
DISEÑO DE MECANISMOS DE MÍNIMO VITAL DE ENERGÍA	35
2.1 Criterios para la comparación y selección del potencial mecanismo MVE.....	35
2.2 Medidores y Técnicas de medición de energía Eléctrica	37
2.2.1 Medidores de energía eléctrica.....	37
A. Medidores electromecánicos (sistema Postpago).....	38
B. Medidores electrónicos (sistema Postpago).....	39
C. Medidor prepago (sistema prepago).....	40
D. Medidor inteligente.....	41
2.2.2 Técnicas de lectura de medición energía.....	42
A. Tradicional	42
B. AMR – Lectura de Medición Automática.....	43
C. Smart Metering.....	44
D. AMI – Infraestructura de Medición Avanzada.....	45
2.3 Diseño de mecanismos	46
2.3.1 Planeación	46
2.3.2 Ingeniería del producto y análisis	47

2.3.3	Mejora	51
2.3.3.1	Adaptación para medidores electromecánicos	54
2.3.3.2	Adaptación para medidores electrónicos	56
2.3.3.3	Adaptación para medidores prepago	58
2.3.3.4	Procedimiento de implementación del MVE para estratos 1 y 2	58
	• Procedimiento modo prepago del MVE – Sin N días	60
	• Procedimiento modo postpago del MVE – Sin N días	61
	• Procedimiento MVE modo prepago – Con N días	61
	• Procedimiento MVE modo postpago – Con N días	63
2.3.3.5	Selección y análisis de procedimientos sin N días	64
2.3.3.6	Mecanismos MVE para las adaptaciones diseñadas	66
	A. Mecanismo I:	66
	B. Mecanismo II:	68
2.3.3.7	Modelado UML de los mecanismos:	69
	I. Diagramas de casos de uso para el mecanismo I	69
	II. Diagramas de casos de uso para el mecanismo II	71
2.3.3.8	Comparación de los criterios de selección del potencial mecanismo para la implementación del MVE	73
CAPITULO 3		76
EVALUACIÓN DE MECANISMOS		76
3.1	Características de los usuarios	76
3.2	Diseño esquemático	79
3.2.1	Diseño a nivel de simulación del mecanismo I	80
3.2.1.1	Síntesis del Diagrama de casos de uso del mecanismo I	80
3.2.1.2	Lógica de procedimientos de simulación	81
3.2.2	Simulación de situaciones	83
3.2.2.1	Simulación de situaciones I y III	83
3.2.2.2	Simulación de situaciones II y IV	84
3.2.2.3	Comparación de resoluciones	86
	Comparación de curvas de consumo diarias	87
3.2.3	Alcance de la simulación	89

Conclusiones y Trabajos futuros	92
Conclusiones	92
Trabajos futuros.....	94
Referencias.....	95

Lista de ilustraciones

Figura 1. Esquema de subsidios en Colombia.....	22
Figura 2. Estructura del medidor electromecánico de energía eléctrica.	39
Figura 3. Estructura del medidor electrónico de energía eléctrica.	39
Figura 4. Estructura de un medidor electrónico de energía eléctrica con sistema prepago.	40
Figura 5. Características de un medidor inteligente de energía eléctrica.	42
Figura 6. Secuencia de funcionamiento del sistema de lectura tradicional.....	43
Figura 7. Secuencia de funcionamiento del sistema de lectura AMR+PLUS.....	44
Figura 8. Estructura general de los sistemas de lectura inteligentes.	45
Figura 9. Diagrama de bloques de la adaptación I para el medidor electromecánico.	55
Figura 10. Interfaces para la adaptación I.	56
Figura 11. Diagrama de bloques de la adaptación II para el medidor electrónico. ...	57
Figura 12. Interfaces para la adaptación II.....	57
Figura 13. Adaptación para implementar el MVE en medidores AMR o Prepago. ...	58
Figura 14. Diagrama de flujo procedimiento MVE prepago sin N días.	65
Figura 15. Mecanismo I para las adaptaciones I y II.....	67
Figura 16. Mecanismo II para la adaptación a los medidores prepago.....	68
Figura 17. Diagrama de caso de uso para el mecanismo I.....	70
Figura 18. Diagrama de caos de uso para el mecanismo II.....	72
Figura 19. Porcentaje de participación energética.	77
Figura 20. Comportamiento energético colombiano 12 al 18 de febrero del 2007....	78
Figura 21. Relación de horas de un día de porcentajes de consumo en el año 2007.	79
Figura 22. Síntesis del diagrama de casos de uso del mecanismo I.	81
Figura 23. Diagrama de procedimientos de simulación del MVE.....	82
Figura 24. Simulación de los casos 1 y 3 del consumo de 2 meses en un hogar de estrato socioeconómico bajo.	84
Figura 25. Simulación de los casos 2 y 4 del consumo de 2 meses en un hogar de estrato socioeconómico bajo.	85
Figura 26. Consumo de flujo de potencia por una semana con una resolución de un día.	86
Figura 27. Consumo eléctrico por una semana con una resolución de una hora.	87
Figura 28. Comparativa del consumo eléctrico de una semana con una resolución de una hora, sobre un mismo horizonte de 24 horas.	88

Lista de tablas

Tabla 1. Condiciones y cantidad definida de suministro básico de agua potable en algunas ciudades de Colombia.	16
Tabla 2. Consumo mensual del mínimo vital de agua potable en Medellín.	17
Tabla 3. Aplicación del FOSE.	19
Tabla 4. Cargas que generan un consumo eléctrico diario y mensual en un hogar..	20
Tabla 5. Referencias de apoyo a metodologías para el diseño de un producto.	26
Tabla 6. Criterios de selección de metodologías para el diseño de potenciales mecanismos de MVE.	27
Tabla 7. Criterios cumplidos por las 8 metodologías seleccionadas.	28
Tabla 8. Asignación de nivel de importancia de cada criterio de selección.	29
Tabla 9. Cumplimiento de criterios de las 8 metodologías evaluadas.	29
Tabla 10. Etapas de las 3 metodologías seleccionadas.	30
Tabla 11 Criterios de selección del potencial mecanismo MVE.	36
Tabla 12 Asignación de nivel de importancia de cada criterio de selección.	37
Tabla 13. Cumplimiento de pautas de selección por las modalidades de pago prepago y postpago.....	48
Tabla 14 Requerimientos operativos del potencial mecanismo MVE.	49
Tabla 15. Requerimientos socioeconómicos del potencial mecanismo MVE.	50
Tabla 16. Requerimientos técnicos del potencial mecanismo MVE.	52
Tabla 17. Condiciones técnicas de diseño del potencial mecanismo MVE.	52
Tabla 18. Relación de medidores versus técnicas de lectura de medición de energía.	53
Tabla 19. Caminos identificados en el diagrama de flujo de la <i>figura 20</i>	65
Tabla 20. Descripción de los actores del diagrama de caso de uso para el mecanismo I.	70
Tabla 21. Descripción de las acciones del diagrama de caso de uso para el mecanismo I.	71
Tabla 22. Descripción de los actores del diagrama de caso de uso para el mecanismo II.	72
Tabla 23 Cumplimiento de criterios de los 2 mecanismos evaluados.	74
Tabla 24. Resumen del alcance del entorno de simulación.....	89

CAPÍTULO 1

ANTECEDENTES

1.1 Origen de los servicios públicos

Inicialmente el hombre ha requerido de servicios básicos o vitales, tales como: alimentación, vivienda, agua y/o salud, para conservar unas adecuadas condiciones de vida; el concepto va cambiando al pasar el tiempo, es por esto que a través de los años estas han aumentado como consecuencia de la evolución que ha ido experimentando el ser humano en muchos aspectos. La humanidad continuamente crea y establece nuevos elementos y/o condiciones que se van convirtiendo en requisitos primordiales para sobrevivir en la cotidianidad, es por esto que nacen nuevos servicios como: educación, trabajo, saneamiento, alcantarillado, iluminación pública, energía eléctrica y gas domiciliario, una visión general de esta área de investigación se encuentra en el *ANEXO A MAPEO SISTEMÁTICO*.

Debido a las desgracias causadas por décadas de malas costumbres y falta de conciencia por parte de las personas y apoyados por un aumento importante en la población que trajo consigo una necesidad mayor de consumo, a inicios del siglo XVIII, el colapso sanitario ocasionado en las ciudades europeas generó la búsqueda de prontas soluciones con respecto a los inconvenientes sanitarios y de salud generados, dando inicio a los “*servicios públicos domiciliarios*”. Es importante resaltar que Roma Antigua fue base para la formación de acueductos, baños públicos, termas privadas, fuentes y lagos artificiales, esta contó con la Cloaca Máxima que es la red más antigua de alcantarillado en el mundo [1], aunque esta solo fuera para aguas lluvias, las *redes de alcantarillado* de residuos de origen humano comenzaron a ser conectadas en Londres durante 1815 [2] y finalmente en 1843, en Hamburgo, se esbozó un sistema de alcantarillado moderno [3].

Otro servicio público que data de tiempos antiguos, es el *gas natural*, el cual era usado directamente de los lugares donde este se filtraba a la superficie y fueron los chinos los primeros en direccionarlo aproximadamente en el 500 a.C, pero en 1826 en Estados Unidos, fue descubierto e identificado por los exploradores franceses y desde

el siglo XIX comenzaron a extraerse de yacimientos de forma sistemática para abastecer las ciudades como combustible para iluminación, después de la llegada de la electricidad se empleó para calefacción y agua caliente, tras la segunda Guerra Mundial gracias a las técnicas de soldadura, se aumentó la capacidad de transporte y la profundidad de extracción [4].

Aunque la fabricación de *energía eléctrica* se viniera trabajando desde antes del siglo XIX, la segunda revolución industrial proporcionó un despegue acelerado, sorprendente y significativo en la generación de electricidad en mayor cantidad, además, evitó que las industrias vieran la necesidad de consumir carbón para su funcionamiento, en 1882, en New York, se usaron por primera vez los embalses para generar *energía eléctrica* y entre 1876 - 1886, *Marcel Deprez*, solucionó el problema de transportar la energía eléctrica a través de largas distancias, esta energía “limpia y fuerte” empezó a ser usada para comunicación e iluminación en las ciudades, posteriormente, las aplicaciones de está fueron incalculables, reemplazando así, a las máquinas de vapor. Una de las últimas utilizations de la energía eléctrica la tuvo el sector doméstico, fue en el siglo XIX que *Nikola Tesla* inventó el sistema de generación y distribución de corriente alterna trifásico a 60 Hz [5] [6] [7], contribuyendo al desarrollo de las *redes eléctricas* actuales.

Respecto al *alumbrado público*, en Europa durante la edad media, con el fin de combatir la oscuridad, se colocaban *candelas* en los balcones que luego fueron reemplazadas con la invención de las farolas de lámpara de aceite, fue específicamente Francia en el siglo XV, que se incorporó un sistema de alumbrado público a base de *porta-linternas*, que dio origen en 1667 al sistema de linternas públicas, se disponían de 5000 linternas distribuidas en el centro y esquina de cada calle; para el financiamiento de este se debían pagar los “*impuestos de Barros y Linternas*”, posteriormente y gracias a los buenos resultados obtenidos, las ciudades empezaron a incorporar esta idea para mejorar la seguridad en las calles europeas [8] [9]. En La Plata (Buenos Aires) en 1883, fue instalado un sistema de alumbrado público en el centro de esta para iluminar las plazas y paseos, convirtiéndose en la primera ciudad latinoamericana en hacer uso de un servicio de alumbrado público alimentado por electricidad [10].

Los antecedentes anteriormente nombrados dieron las pautas para el funcionamiento de estos servicios en Colombia, desde la época colonial hasta gran parte del siglo XIX los servicios públicos no tuvieron un desarrollo significativo a causa del precario progreso económico del país, las técnicas de gobierno dominantes, acompañados de altos precios, corrupción y deficiencias en la calidad en la prestación de estos, no se lo permitieron; por ende, la iniciativa se vio manifestada en los últimos 25 años de este siglo, ya que, durante este periodo los municipios toman algo de conciencia y enfrentan “*los servicios públicos como un compromiso social y político*” [11]; además, países como Francia o Estados Unidos que transmitían nuevos conocimientos, costumbres y estilos de consumo, y al igual que en otros países, para Colombia, contribuían al progreso en algunos aspectos de los servicios ofrecidos. Hacia los años 1800, la recolección de agua potable para uso doméstico, por parte de los habitantes de las

ciudades, también se debía obtener de puntos ubicados estratégicamente, estos eran abastecidos con agua proveniente de ríos cercanos y el servicio domiciliario de agua, era ofrecido por “aguateros” que se encargaban de transportarla en cántaros de barro a los hogares que lo requerían [11].

En 1886, se instaló en Bogotá el primer sistema de acueducto y alcantarillado con “tubos de hierro galvanizado”, aproximadamente en 1897, la ciudad poseía cerca de 2800 acometidas domiciliarias, que representaba el 20,5 % de la población, aparte de las existentes para comercio e industria, solo hasta inicios del siglo XX, Cartagena y Medellín se incorporaron un acueducto metálico [11]. Así mismo, respecto a alcantarillado, aún existían las costumbres individualistas y los desperdicios eran arrojados a las calles. Fue en 1875, que se construyó en Bogotá un verdadero subterráneo que desembocaba en ciertos ríos de la ciudad, pero no contribuía a los focos de infección tan avanzados de la época, fue solo hasta 1950 que se finalizaron las obras de una cloaca que cumpliera con las condiciones de sanidad requeridas [12].

La *energía eléctrica* en Colombia surgió en 1890, en Bogotá con la compañía privada “*The Bogotá Electric Company*”, que adicionalmente, contribuyó al cambio del alumbrado público a base de gas existente en la época con el uso de plantas termoeléctricas. Medellín constituyó la “*Compañía Antioqueña de Instalaciones Eléctricas*”, con capital mixto, pero pasó a entidades particulares en 1901, también, en Santander, en 1891, instaló una planta hidroeléctrica para iluminar calles de Bucaramanga y algunas casas con bombillos incandescentes de 16 vatios, pero es en 1893, que se establece la “*Compañía Anónima Eléctrica de Bucaramanga Ltda.* Los servicios de energía eléctrica y alumbrado público inicialmente fueron de orden privado hasta que se expidió la ley 113 de 1928 [11] [12] [8]. Sin embargo, el congreso de la Republica estableció en 1994, la ley de servicios domiciliarios (ley 142 de 1994) y la ley eléctrica (ley 143 de 1994) en esta última se convirtió a la Comisión Reguladora De Energía (CRE) en la Comisión Reguladora de Energía y Gas (CREG), todo esto con el fin de conferir un marco gestable y seguro en términos de servicios públicos [12] [13].

Dentro de la definición de vida digna existente, hay recursos que son considerados indispensables, puesto que son estos los que proporcionan las adecuadas condiciones que merece un ser humano, muchas veces para cierta población, no es económicamente asequible hacer uso de estos, es por esto que muchos países buscan la manera más eficaz de ofrecerle a sus habitantes una mejor calidad de vida, pero no siempre es una meta alcanzable, ya que el nivel económico que maneja el gobierno de cada uno de estos, en algunas ocasiones, no puede suplir con lo establecido como necesidades vitales de los habitantes o simplemente direccionan estos dineros a otros objetivos, olvidando la importancia de cumplir con los requerimientos básicos que poseen en cada país, es importante resaltar que para alcanzar un mundo más justo es necesario incrementar igualdad en la distribución de bienes, servicios y oportunidades entre la población menos favorecida, en consecuencia, a raíz de la problemática inequidad social existente en algunos países, especialmente en los emergentes, se establecen dentro de sus políticas los mínimos

vitales de servicios públicos domiciliarios, como electricidad, agua potable y gas doméstico; permitiéndoles a los ciudadanos de escasos recursos contar con los requerimientos mínimos considerados para una vida digna. Colombia, dentro de sus leyes y normativas ha considerado y establecido pautas que regulan la prestación y distribución de estos servicios públicos, además, fija normas para las empresas encargadas de ofrecerlos, para que los brinden de la manera más adecuada y satisfactoria, así mismo, intrínsecamente las leyes también instauran condiciones que permiten ofrecer a los usuarios de estratos socio-económicos más bajos, subsidios que cubran los consumos mínimos de servicios públicos, puesto que estos no cuentan con recursos suficientes para adquirirlos [14] [15].

1.2 Aspectos legales y normativos de los mínimos vitales

Actualmente, ningún ciudadano logra subsistir sin un uso mínimo de algunos servicios, por ende, suplir estas necesidades básicas es deber de los entes gubernamentales de cada país, para construir un futuro digno y prometedor, socialmente hablando [16], es por esto, que algunos países establecen dentro de sus leyes modelos que aseguren los derechos fundamentales, como : la vida [17], la integridad personal y la igualdad, es de trascendental importancia resaltar que cada ser humano requiere suplir estas necesidades básicas que permitan su subsistencia digna. Por ello es necesario ejecutar estudios que permitan contribuir al cumplimiento de estas insuficiencias [18], con respecto a lo anterior, se establece el “*derecho al mínimo vital*” de algunos servicios domiciliarios como lo son agua potable, gas domiciliario y/o *energía eléctrica* en países como Colombia [2].

Colombia, dentro de su reglamentación legal ha establecido medidas que regulan la temática correspondiente a los *servicios públicos domiciliarios*, inicialmente la Constitución política de 1886 estableció pautas para tratar por primera vez los servicios públicos, pero estas fueron de manera superficial, dado que, solo enfatizaba en la prohibición de realizar huelgas por parte de los prestadores de los servicios [19], es gracias a la Constitución política de 1991 [20], que proporcionó al país las bases necesarias y la prestación requerida de estos en aquel momento, esta ha sido modificada y/o adaptada a las transformaciones que ha tenido la sociedad colombiana en los últimos años [19], además, se han establecido nuevas leyes y decretos; según las necesidades que surgen en cada municipio de manera independiente. Dentro de estos se ha contemplado la adecuada prestación por parte de las entidades y el uso correcto de los servicios de acueducto, alcantarillado, aseo, telefonía, gas y *energía eléctrica*, por parte de los ciudadanos [14] [15]. Asimismo, dentro de estas no fueron considerados ciertos puntos adicionales, como lo son las falencias en el cumplimiento de las necesidades y derechos anteriormente nombrados, puesto que muchos de los habitantes no cuentan con los recursos para costear las tarifas establecidas para hacer uso de estos servicios, por esta razón, el gobierno busca contribuir y suplir con estas

problemáticas en los sectores menos favorecidos, planteando y posteriormente estableciendo leyes que cubran las necesidades básicas, es como se presentan el proyecto de ley 101 que propone un marco jurídico para la implementación del mínimo vital a todos los servicios públicos domiciliarios [21], con el fin de conseguir un avance significativo en este aspecto, y se presentan bocetos que buscan establecer la implementación de *mínimos vitales gratuitos*, permitiéndole a la población de estratos socioeconómicos 1 y 2 de uso residencial, hacer uso de servicios como: *energía eléctrica* y agua potable [22] [23], sin embargo el servicio de agua es el primero y más desarrollado en diferentes países en cuanto a su implementación como mínimo vital y es referencia obligada para establecer lineamientos para implementar el resto de los servicios como mínimo vital.

Es importante recalcar que el agua es un recurso indispensable para la vida, por lo cual, como seres humanos con derechos y principalmente como se establece la Observación General N° 15, “*El derecho humano al agua es el derecho de todos a disponer de agua suficiente, salubre, aceptable, accesible y asequible para el uso personal y doméstico*” [24], países como Sudáfrica y Colombia, incluyen dentro de su normativa el mínimo vital de agua potable como derecho, instituyendo una determinada cantidad de metros cúbicos, que es considerado, según el estudio realizado en cada país, como el necesario por habitante dentro de un domicilio, para cubrir sus necesidades básicas (cabe aclarar que, estos deben hacer uso de este sin malgastarlo). En Sudáfrica en el 2001, se propuso el uso del mínimo vital para agua potable, pero solo en Phiri, un distrito de Soweto, el cual, instaura en su normativa el suministro suficiente de este servicio para sus residentes, este mínimo se fija en 25 litros por individuo al día o 6000 litros al mes y este debe ser ofrecido por el ayuntamiento de Johannesburgo de manera gratuita, el consumo es limitado a través de contadores prepago, puesto que, muchas veces estos no cuentan con los recursos para costear los excedentes generados al superar el suministro básico establecido, sin contar que muchas hogares en situación de extrema pobreza no pueden ser partícipes de esta, ya que no cuentan con el abastecimiento de este recurso vital en su localidad [25] [26]. En Colombia, este recurso es estimado como un derecho fundamental y como un servicio público, por consiguiente, todos los habitantes deben poder acceder al servicio de acueducto con las condiciones adecuadas de calidad y cantidad [27] [28], por esto se establece *el derecho al mínimo vital de agua* basado en el derecho a la vida y la dignidad humana, y se fija que “*la tutela procede por violación al derecho fundamental al mínimo vital cuando está en peligro el mínimo vital de las personas y el Estado, pudiendo prestar el apoyo material mínimo, no lo hace*” [18], siendo este el único método para que en la jurisprudencia de la corte Constitucional, se respete este derecho a las personas menos favorecidas, es por esto que se establece que las entidades que ofrecen el servicio se abstengan de retirar el suministro de agua en su totalidad, inclusive si las personas no cuentan con los recursos necesarios para costearlo y que permitan a estos realizar acuerdos de pago para que el servicio no les sea quitado [27] [29]. Ciudades como Bogotá D.C., Medellín, La Estrella, Barranquilla y Cali, cuentan con políticas propias que, según las necesidades de sus habitantes establecen una cantidad mínima requerida de este servicio, ver **Tabla 1**. De estas ciudades, Bogotá es la única que aplica el derecho al mínimo vital de agua, sin importar

la morosidad que posean los beneficiados con la empresa prestadora del servicio, en este ambiente; la alcaldía municipal estableció dentro de sus fundamentos jurídicos, un artículo que elimina la suspensión del servicio por esta causa, bajo un sistema postpago, donde se realiza el pago del consumo de agua potable en periodos de 2 meses [30], mientras que los otros municipios solo otorgan el auspicio cuando determinada población cumple con unos requisitos puntuales y entre ellos no está respetar el derecho al mínimo vital de agua potable estando en mora con la empresa prestadora del servicio [31].

Tabla 1. Condiciones y cantidad definida de suministro básico de agua potable en algunas ciudades de Colombia.

Corte Constitucional	Se ha basado en lo definido por la OMS, y ha adoptado 2 cantidades: 20 litros y 50 litros de agua al día por persona (al mes serían 0.6 y 1.5 metros cúbicos respectivamente)
Medellín ▪ Acuerdo 06 de 2011 reglamentado por el Decreto 1889 de 2011	<ul style="list-style-type: none"> • Otorga un auspicio. • Establece la cantidad mínima de agua por persona en 2,5 metros cúbicos por mes del servicio público de acueducto y alcantarillado. • Personas hasta con 47,99 puntos en la encuesta Sisben 3. • El acuerdo de pago es condición previa para acceder al auspicio.
La Estrella ▪ Acuerdo 005 de 2012	<ul style="list-style-type: none"> • Otorga un auspicio. • Establece la cantidad mínima de agua en 10 metros cúbicos al mes por suscriptor del servicio público de acueducto y alcantarillado. • Estratos 1 y 2. • El acuerdo de pago es condición previa para acceder al auspicio.
Bogotá ▪ Plan Distrital del Agua Decreto 485 de 2011 ▪ Decreto 64 de 2012	<ul style="list-style-type: none"> • Reconoce el derecho al agua. • Otorga una cantidad mínima de 6 metros cúbicos al mes por suscriptor de servicio público de acueducto. • Estratos 1 y 2 • Elimina la morosidad como causal de exclusión del mínimo vital
▪ Bucaramanga Acuerdo 032 de 2013	<ul style="list-style-type: none"> • Otorga un auspicio. • Establece la cantidad mínima de agua en 6 metros cúbicos de agua al mes por suscriptor del servicio público de acueducto y alcantarillado. • Personas hasta con 30 puntos en la encuesta Sisbén 3.

	<ul style="list-style-type: none"> • El acuerdo de pago es condición previa para acceder al auspicio
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Cali Acuerdo 0370 de 2014 	<ul style="list-style-type: none"> • Otorga un auspicio. • Otorga una cantidad mínima de 6 metros cúbicos al mes por suscriptor de servicio público de acueducto. • Estratos 1 y 2 • El acuerdo de pago es condición previa para acceder al auspicio

Fuente: Tomada y adaptada de [31]

En el departamento de Antioquia, los municipios de Medellín y La Estrella, dentro de sus fundamentos jurídicos, instituyeron el mínimo vital de agua potable. En primera instancia, en La Estrella el consejo municipal en el año 2012, crea el programa “*Mínimo vital de agua*”, el cual será dirigido a la población menos favorecida, es decir, viviendas ubicadas en los sectores de estratificación 1 y 2, la cantidad fue establecida en 10 metros cúbicos mensuales del servicio de acueducto y de alcantarillado, si un suscriptor no posee medidor de consumo, el mínimo vital de agua otorgado será correspondiente al 50 % del valor de la tarifa pagada a la empresa prestadora del servicio, aproximadamente 3 mil personas se vieron favorecidas dentro del programa instaurado [32]. Por otro lado en Medellín en el año 2011, se examinó un suministro mínimo a través del “*Plan litros de amor*”, donde la Alcaldía municipal decreta el derecho al *mínimo vital de agua potable*, estipulándose en 2.5 metros cúbicos mensuales del servicio público de acueducto y del alcantarillado, este auspicio será entregado, por la Empresas Públicas de Medellín (EPM), a cada usuario perteneciente a los hogares más vulnerables, es decir, personas con menos de 47,99 puntos en el Sisbén, en situación de vulnerabilidad que hagan parte de programas de acompañamiento familiar del Municipio de Medellín o personas desplazadas que se encuentren registradas en los *sistemas de información de desplazados del país*, de esta forma, cada hogar tendrá derecho a una cantidad de agua, dependiendo del número de personas que lo conformen, siendo así, 45 mil hogares los beneficiados y según la OMS, se estima el consumo mensual que cada una de las persona beneficiadas debe darle a los 2500 litros de agua, ver **Tabla 2** [33] [34].

Tabla 2. Consumo mensual del mínimo vital de agua potable en Medellín.

Agua al mes (l)	Uso
500	Aseo personal.
500	Preparación de alimentos y consumo de líquido.
833	Aseo del hogar.
667	Lavado de ropa.

Fuente: Tomada y adaptada de [31]

En el año 2011, la alcaldía municipal de la ciudad de Bogotá, decreta el “*plan distrital de agua. Compromiso de todos*”, que contribuye con la ejecución del mínimo vital de agua potable, con el objetivo de “*satisfacer sus necesidades básicas de alimentación, salubridad y saneamiento básico* ” [35], es aquí donde se establece un mínimo de consumo de 6 metros cúbicos de acueducto, donde inicialmente fue planteado para ser concedido a los suscriptores que corresponde a estrato socioeconómico 1 y, que adicionalmente, no se encuentren en atraso con respecto a los pagos de las facturas [35], en el año 2012, el alcalde *Gustavo Petro*, dentro de su Plan de desarrollo Bogotá Humana, cambia parcialmente el decreto 485 de 2011, permitiéndole incorporar a las viviendas del estrato 2, viéndose así beneficiados cerca de 600 mil suscriptores, además establece que el derecho mínimo gratuito de agua potable será respetado y no permite a las empresas prestadoras del servicio la suspensión de este, así el suscriptor esté en deuda [30].

Además de eso, en el Municipio de Bucaramanga en el año 2013, se establece el programa *Mínimo vital de agua potable*, el cual se instaure un auspicio de 6 metros cúbicos por mes del servicio público domiciliario de acueducto y de alcantarillado, este se otorga a personas que se encuentren en el Sisbén y que cuente con un puntaje de 30 puntos y/o que se encuentren en situación de vulnerabilidad y pobreza, y además, no se encuentren en mora con la empresa que preste el servicio, dentro de este programa se beneficiara a 10000 usuarios que cumplen con los requerimientos nombrados [36].

Finalmente, en el año 2014, el consejo municipal de Santiago de Cali, crea “*El programa del mínimo vital de agua potable*”, con el cual se plantea cubrir las necesidades básicas de consumo humano, higiene, alimentación y saneamiento básico, en este pueden ser partícipes suscriptores residentes en los estratos 1 y 2, y a los cuales se les auspiciara gratuitamente 6 metros cúbicos de agua potable mensuales por persona, mientras estos no se encuentren en deuda con la empresa de acueducto o que tengan el servicio suspendido [37] [38].

Dentro de la experiencia citada en cuanto a implementación de mínimo vital de agua se puede resumir en el siguiente listado los principales lineamientos que la conforman:

- Suministro básico de agua potable, este valor es establecido, dependiendo de un estudio de consumo realizado en cada lugar y del piso climático por regiones de cada país.
- Corte y reconexión del servicio de agua potable. En Bogotá no se realiza corte aun cuando el usuario este en mora, puesto que, el uso del agua es establecido como derecho, sin embargo, en Sudáfrica se adoptó una modalidad de pago prepago para poder realizar dicho corte.
- Las modalidades de pago para la prestación del servicio de agua son tanto postpago como prepago, pero en Sudáfrica se observa que se obtienen mejores beneficios en la implementación del mínimo vital de este, adoptando el sistema prepago, puesto que esta, les facilita el control del suministro hídrico.

Con respecto a la *energía eléctrica* y su distribución como servicio público domiciliario, no se cuenta con un historial de leyes y normas que faciliten la implementación del MVE, países como Perú, México, Argentina, Chile y Brasil cuentan aún solo con un subsidio que cubre parcialmente el pago del consumo energético de una población en específico [39]. Perú, por ejemplo, en el 2001, creó el Fondo Social de Compensación Eléctrica (FOSE), que le permite tener acceso y permanencia del servicio energético a todos los usuarios residenciales cuyos consumos mensuales sean menores a 100 KWh/mes albergados en la opción tarifaria residencial (BT5) y estos son financiados mediante un recargo a los usuarios residenciales que tienen un consumo superior a 100 KWh/mes y a los usuarios con tarifas no residenciales [40]. La reducción en el consumo de los hogares favorecidos, está dado según el sector donde se encuentra ubicada y el tipo de usuario, ver **Tabla 3**.

Tabla 3. Aplicación del FOSE.

Usuarios	Sector	Reducción Tarifaria para consumos menores o iguales a 30 KWh/mes	Reducción Tarifaria para consumos de 31 a 100 KWh/mes
Sistema Interconectado	Urbano	25% del cargo de energía	7.5 KWh/mes por cargo de energía
	Urbano-Rural y Rural	50% del cargo de energía	15 KWh/mes por cargo de energía
Sistema Aislado	Urbano	50% del cargo de energía	15 KWh/mes por cargo de energía
	Urbano-Rural y Rural	62.5% del cargo de energía	18.75 KWh/mes por cargo de energía

Fuente: Tomada de [41]

En Argentina, en el año 2016, se estableció la “Tarifa Social Federal” con el fin de normalizar y corregir los errores que existían con respecto al tipo de usuarios que se veían beneficiados con los subsidios anteriormente, buscando mejorar la prestación de los servicios públicos domiciliarios, esta tarifa es aplicada a los servicios de transporte, el agua corriente y las cloacas, la electricidad y el gas; para el caso de energía eléctrica, solo se pagaran los costos fijos y la distribución para el consumo de 150 KWh este será otorgado a los usuarios que verdaderamente lo necesitan, las cuales están incluidas dentro de categorías que serán determinadas con respecto a condiciones establecidas [42].

En Colombia desde los años ochenta, el DANE propuso una serie de criterios que instituyeron el punto de partida para crear los 6 estratos socioeconómicos existentes actualmente en Colombia, seguido de esto y de manera semejante la ley 142 de 1994 crea la estratificación socioeconómica para los usuarios de los servicios públicos domiciliarios en igual número de estratos, para así realizar una prestación uniforme de los servicios públicos y el cobro de este. Los usuarios son clasificados dependiendo de las condiciones de la vivienda en que resida, clasificando los usuarios de mejores condiciones en los estratos más altos 5 y 6, los que cuentan con circunstancias normales están en estratos 3 y 4 y finalmente los usuarios más vulnerables y en condiciones de pobreza son clasificados en estratos 1 y 2. [43] [14]. A causa de la desigualdad social existente, en el año 1992, se estableció constitucionalmente para el sector eléctrico nacional la ley 143, que aporta a la generación, interconexión, transmisión, distribución y comercialización de *energía eléctrica*, creándose además comisiones regulatorias que supervisan, coordinan y controlan las actividades de los recursos energéticos existentes en el país para los usuarios de los diferentes estratos socioeconómicos; en sus artículos 3° y 23° [15].

Por otro lado, es necesario conocer los usuarios del servicio energético, con el objetivo de obtener un campo de información más amplio que facilite determinar los posibles usuarios donde se podría desarrollar la implementación del MVE, por lo que se observan a continuación, las cargas de consumo promedio nacional medidas en Kwh en los hogares, tales como: una nevera, un televisor, una lavadora, entre otros [44], Ver **Tabla 4**:

Tabla 4. Cargas que generan un consumo eléctrico diario y mensual en un hogar.

Electrodoméstico	Uso diario (horas)	Cantidad	Consumo	
			Diario (KWh)	Mensual (KWh)
Nevera 220lt	24	1	1,65	49,50
Plancha	0,4	1	0,48	14,40
Lavadora 9,5 Kg	0,5	1	0,22	6,45
Licuadaora 1,4 lt	0,2	1	0,09	2,70
TV LCD	4	1	0,40	12,00
DVD	0,3	1	0,01	0,18
Minicomponente	5	1	0,25	7,50
Computador	4	1	0,60	18,00
Bombillo	1,6	8	0,26	7,68
Total			3,96	118,41

Fuente: Modificado de [44]

Dado lo anterior, se hace obligatorio asegurar la protección de los derechos a los usuarios y fijar un consumo de subsistencia energético establecido de acuerdo a las regiones, es por esto que, en el año 2004, se modifica el consumo básico existente de 200 KWh [15] [45], a valores de subsistencia determinados según su altitud:

- 173KWh/mes para alturas inferiores a 1000 metros sobre el nivel del mar.
- 130 KWh/mes para alturas iguales o superiores a 1000 metros sobre el nivel del mar.

La definición de estos valores de subsistencia y su aplicación en el marco regulatorio nacional del sector eléctrico, empezó a ser aplicada a partir del año 2007 [45]

En este sentido, a partir de la ley 142 de 1994, en el artículo 5, se establece el otorgamiento de subsidios a usuarios de menores ingresos, en el artículo 89 determina que deben ser dados a usuarios de estratos 1, 2 y 3, adicionalmente, el capítulo III de la ley 142, establece como deben ser estos otorgados y establece que un 20% del subsidio otorgado será financiado por una tarifa social obtenida por las empresas prestadoras de los servicios públicos a través de las contribuciones efectuadas por los usuarios comerciales, industriales y de estratos socioeconómicos 5 y 6, el valor restante será cubierto por el estado a través de la recolección de los “fondos de solidaridad y redistribución de ingresos”, el porcentaje del valor subsidiado, dependerá del estrato socioeconómico en el que se ubique el inmueble, es decir, para [14]:

- *Estrato 1: Hasta el 50%*
- *Estrato 2: Hasta el 40%*
- *Estrato 3: Hasta el 15%*

El esquema adoptado por el estado colombiano se ve ilustrado en la **Figura 1**, éste ha beneficiado notablemente a la población con menor ingreso del país, principalmente estratos 1 y 2; sin embargo, el aporte dado no cubre adecuadamente con la necesidad vital de *energía eléctrica* que deben garantizarse a estos ciudadanos [39].

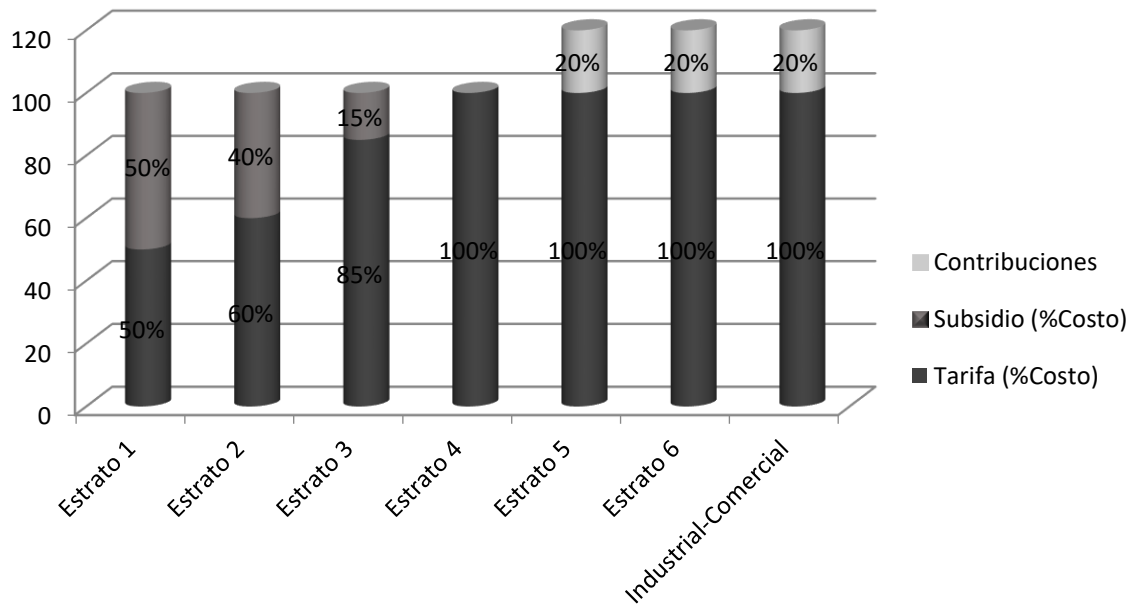


Figura 1. Esquema de subsidios en Colombia.

Fuente: Tomada de [39]

Dada la revisión de información citada anteriormente en cuanto a la prestación del servicio de energía eléctrica, se puede resumir en el siguiente listado los actuales elementos disponibles que aportan sobre mínimo vital de éste en Colombia:

- El proyecto de ley 101 que propone un marco jurídico para la implementación del mínimo vital a todos los servicios públicos domiciliarios.
- Dentro del historial de antecedentes en Colombia, existe normativas y leyes aplicadas solo para el otorgamiento de subsidios, dejando evidenciado que se necesario realizar avances en estudios con respecto a mínimo vital de energía eléctrica.
- Consumo de subsistencia, que es considerado como la cantidad mínima de electricidad usada en un mes por un usuario para satisfacer sus necesidades básicas y cuyo valor se fija en 130 y 173 KWh/mes según se esté por debajo o arriba de los 1000 metros sobre el nivel del mar.

Considerando que aún se encuentra en evolución el marco normativo, regulatorio y legislativo vigente en Colombia en cuanto a la comercialización y distribución de energía en el sector eléctrico, las regulaciones con respecto a subsidios e implementación futura del MVE para estratos socioeconómicos bajos 1 y 2, ha obligado a diferentes operadores de red (EPM, EPSA, ELECTRICARIBE, EMCALI y CEO) e igualmente preocupados de hacer más eficientes sus procesos internos a desarrollar pilotos sobre diferentes modalidades de facturación diferentes a la tradicional (Postpago), adoptando nuevas tecnologías de medición remota, como AMR, con el fin

de automatizar los procesos e ir en una continua evolución hacia sistemas inteligentes, los cuales buscan optimizar los procesos no solo de comercialización y facturación sino también los procesos de distribución a nivel de infraestructura, beneficiando finalmente a los usuarios finales y al operador de red (OR) en costos y calidad de servicio .

1.3 Características de los sistemas de medición inteligentes

Los sistemas de medición inteligente AMI constituyen la actual frontera tecnológica para los OR, conocer su funcionamiento, ventajas, desventajas y posibles mejoras con respecto a las modalidades de facturación existentes, y las detecciones de fraude de acuerdo a la adaptación a las infraestructuras de redes eléctricas actuales, es una referencia obligada para la implementación del mínimo vital de energía (MVE).

Para realizar estudios sobre la implementación de nuevas tecnologías en la infraestructura del sector eléctrico actual, es necesario sistematizar los procesos de distribución y comercialización de la energía, estudiando la veracidad de los datos de gestión y operación en tiempo real, el análisis sobre el control total del flujo de potencia al usuario final y la recolección de información sobre posibles fraudes y fallas en la red de distribución y suministro energético [46]. En la actualidad todos los procesos de lectura, corte y reconexión del flujo de potencia del usuario se realizan de forma manual, siendo la mano de obra el recurso primordial representando un alto costo operativo, en el servicio de corte parcial, y falta de información oportuna [47]. Los elevados picos de la curva de carga de consumo eléctrico mensual y la creciente demanda de electricidad vuelve indispensable el ingreso de fuertes inversiones en infraestructuras, con el fin de suplir las necesidades de los usuarios finales en cortos periodos de tiempo. Es por esto que se realiza la búsqueda de diferentes opciones para suplir este tipo de necesidades, de tal modo que se utilicen de manera eficiente los recursos disponibles, es así como nacen las redes eléctricas inteligentes como una forma de optimizar las condiciones actuales y brindar a dichos usuarios autonomía en la cadena de suministro del flujo de potencia [48]. La demanda energética se activa de acuerdo a la información que está disponible tanto para el OR como para el usuario final, dosificando los puntos de entrega y generación de carga por medio de sistemas y con periodos de muestreo más detallados, integrando todo el conjunto de medidores para generar un concepto de balances energéticos (fundamental para las Smart Grid) [49]. Por otra parte, los OR del servicio eléctrico, enfrentan problemas de pérdida de ingresos, debido a las pérdidas en los procesos de transmisión, distribución y comercialización de la energía; por lo que en la infraestructura de medición AMI se encuentran soluciones particulares, dado que es una tecnología que permite aumentar la eficiencia en los procesos de distribución de las empresas eléctricas tanto a nivel hardware como a nivel software, permitiendo: el monitoreo continuo, control de datos y costos de la energía, aplicación de tarifas prepago y facturación a distancia [50]. El

diagnóstico de la estructura del sector eléctrico, el marco regulatorio, el análisis de nuevas normativas, regulaciones y políticas; implica la generación de cambios en inversión, operación de funciones y nuevas prestaciones del servicio, demandando nuevos procesos de facturación, sin embargo, la gestión del consumo, medición y precios en la actualidad infiere un modelo de facturación en donde los Kwh consumidos se suman en el transcurso del tiempo, independientemente del momento en que la energía sea entregada y de cuanto se haya consumido; por consiguiente, los sistemas AMI permiten la combinación de precios basados en tarifaciones en diferentes periodos de tiempo y la capacidad tecnológica de los usuarios para dar respuesta a las señales de eventos sobre el comportamiento del consumo energético, marcando una nueva era en la industria eléctrica en cuanto a facturación y distribución energética [51].

Los recientes avances en los equipos de medición en las redes inteligentes, facilitan la variación dinámica de picos y tarifas de las cargas de consumo eléctrico, además los clientes son capaces de reaccionar frente a los precios con el fin de gestionar su consumo, lo que incide sobre la curva de carga en los hogares y en los costos de la red. Así mismo, con dichos avances se han incorporado energías renovables como fuentes intermitentes que se adaptan a este tipo de sistemas de medición, soportadas bajo un modelo híbrido entre una red de apoyo y una red de adaptación, capaz de modelar la reacción y el comportamiento de los clientes [52]. También, se describe la transición de modelos de medición tradicional a modelos modernos apoyados de lecturas automáticas y comunicaciones en 1 y 2 sentidos a través de un sistema basado en una infraestructura AMI [53], considerándola como una de las componentes esenciales en el marco de implementación de las Smart Grid, siendo reconocidas como una automatización de los procesos de gestión, operación y control de las redes eléctricas, por las empresas de distribución, pues ofrece además la incorporación de medidores inteligentes, diferentes tipos de protocolos, y variedad de componentes hardware y software, que permiten el acceso a información con alto nivel de detalle basada en tiempo, recepción y transmisión frecuente a distintas partes de manera remota. Además de ser una arquitectura robusta de comunicación bidireccional automatizada entre el medidor inteligente con una dirección IP disponible y un *call center* con un servidor del operado de red.

El obtener los datos en tiempo real, mejora la toma de decisiones sobre el uso racional de la energía, aumenta la eficiencia, la detección de problemas, la fiabilidad y el ahorro de dinero a los usuarios finales [54] [55]. La dinámica de precios de la energía y regulación de la carga máxima minimiza la tensión en la red, causada por patrones irregulares por lo que se plantea monitorear y controlar la carga en el lado de la distribución para el manejo y gestión de las cargas pico y abordar las consideraciones de diseño necesarias para la infraestructura de medición, facilitando la adopción de políticas de precios dinámicos en Colombia [56]. Dado lo anterior, se investigan los enfoques de agrupación, índices y caracterización del perfil de consumo de los clientes, convirtiendo a AMI en una componente fundamental para mejorar la fiabilidad, la eficiencia y la seguridad de las redes eléctricas inteligentes en Colombia. Los primeros estudios se limitan a lecturas de medición automáticas con un canal de

comunicación unidireccional, con el fin de evaluar simulaciones del desempeño de una amplia gama de tecnologías de comunicación actuales en el país con respecto al tráfico y caracterización de futuras funcionalidades AMI, para de este modo enfrentar los retos para el desarrollo y mejora de las Smart Grid en general [57] [58] , sin embargo, la adopción de este tipo de sistemas presenta altos índices de robo de energía, por lo que se propone un detector de robo de la energía basado en un patrón de consumo, el cual no invade la privacidad de los clientes, pues se basa en un algoritmo sobre la plataforma de gestión y distribución [59]. Por último, se define la *fiabilidad de la red eléctrica* como: el equilibrio entre la generación y la demanda de energía eléctrica en cualquier instante de tiempo, por ejemplo, el aumento de fuente de energías alternativas en las redes eléctricas, compromete la fiabilidad e introduce volatilidad de los precios, por lo que se proponen como solución sistemas de gestión de la demanda [60] justificando los cambios, con el fin de adaptar el actual sistema eléctrico con tecnologías de medición inteligente, permitiendo la digitalización de la lectura de datos (sensores ópticos y microprocesadores), lectura remota (Modem GPRS) y automatización del proceso de corte y reconexión (circuito de fuerza apoyado de un sistema de notificación SMS), con el fin de optimizar los procesos de facturación tanto para el OR como para los usuarios finales [47].

Dentro del ejercicio de mapeo sistemático realizado a la tecnología AMI, no se identifica la concepción de la tecnología AMI actual para atender potenciales regulaciones de mínimo vital de energía, para mayor detalle ver *ANEXO B BÚSQUEDA SISTEMÁTICA AMI*.

Con el propósito de seleccionar un óptimo procedimiento de diseño de productos, se observa la importancia que implica el análisis y la mejora de los actuales sistemas de medición eléctrica, teniendo en cuenta que se deben realizar cambios en la normatividad y regulación del sector eléctrico, además de hacer inversiones en la infraestructura de distribución actual en miras de migrar hacia las Smart Grid comenzando con la implementación de sistemas AMR y AMI, los cuales brindan pautas para una posterior implementación del MVE en Colombia para estratos socioeconómicos 1 y 2. A continuación, se muestra el análisis, evaluación y selección del procedimiento de diseño de los potenciales mecanismos.

1.4 Metodología

Con el propósito de establecer un procedimiento de desarrollo metodológico en el presente trabajo de grado, se hará uso del *Método Ingenieril*, ver *ANEXO C METODOLOGÍAS*, el cual proporciona unos lineamientos para llevar a cabo los logros y/o cumplimiento de los objetivos del presente trabajo de grado. Para la selección del procedimiento de diseño de los potenciales mecanismos de implementación del MVE para estratos socioeconómicos bajos en Colombia, se analizan una serie de metodologías de diseño de productos, como se observa a continuación:

Metodologías de diseño de producto

Para el presente ejercicio se hace necesario realizar una clasificación sistemática de referencias, ver *ANEXO C METODOLOGÍAS*, que proporcionen información asociada de diferentes tipos metodologías de diseño de producto.

Las metodologías que pueden apoyar a la implementación del MVE en estratos socioeconómicos bajos en Colombia, parten de la realización de una búsqueda sistemática de metodologías que más se acoplen al diseño y desarrollo de un producto pensado para el sector eléctrico. En estos se desarrollan una serie de pasos o etapas que permiten el adecuado diseño de un producto, por un lado se tiene que **MD.1** es una metodología para procesos dinámicos, es decir donde se presente algún tipo de realimentación entre variables y tiene como objetivo entender el funcionamiento y comportamiento de estos para generar modelos, por otro lado, **MD.5** presenta etapas que favorecen el proceso de diseño de un producto, pero es enfocado al área de mercadeo, simultáneamente, **MD.4** plantea una serie de fases de desarrollo de productos presentando una mejora de la calidad y el eficiencia en las organizaciones, así mismo, **MD.6** y **MD.7** muestran una metodología general para la elaboración de productos desde el área de marketing y de ingeniería, es decir, exhiben un análisis de esta pero no esboza una serie de pasos o etapas que permita su seguimiento correcto. Finalmente, los documento que despliegan las metodologías **MD.2** y **MD.8** describen una serie de etapas recomendadas para el progresivo cumplimiento del diseño e implementación de un producto, dichas metodologías realizan un planteamiento desde la idea inicial hasta la incorporación de dicho producto al mercado, siendo estas las metodologías más completas, ya que describen todas las áreas en las que se debe analizar el producto a proponer, adicionalmente, la **MD.3** es una metodología aplicable al diseño o rediseño de procesos, productos y servicios, esta se basa en el análisis de errores a través de evaluación y reducción de riesgos a través de una serie de pasos, buscando así una mejora en el proceso actual, realiza un enfoque en el aumento de la calidad. Teniendo en cuenta el análisis y evaluación de los procedimientos anteriormente nombrados, se procede a realizar la selección de las metodologías más distintivas, ver **Tabla 5**.

Tabla 5. Referencias de apoyo a metodologías para el diseño de un producto.

Metodología	Título del documento
MD.1	Una aproximación a la adopción de medidores inteligentes en el mercado eléctrico colombiano y su influencia en la demanda [61].
	La dinámica de sistemas como metodología para la elaboración de modelos de simulación [62].
MD.2	Propuesta metodológica para el desarrollo de productos [63]

MD.3	Implementación de metodología six sigma en la mejora de Procesos y seguridad en las instalaciones de Schneider Electric de Colombia S.A. [64]
	SIX SIGMA “0 de cómo las pinzas y martillos se tornan tecnología de punta” [65]
MD.4	A structured methodology for multimedia product and systems development [66]
MD.5	La gestión del diseño en la empresa [67]
MD.6	Diseño y desarrollo de productos [68]
MD.7	El proceso de diseño y desarrollo de nuevos productos y su relación con el marketing [69]
MD.8	Metodología para mejorar la ingeniería de Producto/Proceso basada en Ingeniería Concurrente [70]

Fuente: Propia.

CRITERIOS PARA LA COMPARACIÓN Y SELECCIÓN DE LA METODOLOGÍA DE DISEÑO DE POTENCIALES MECANISMOS

Con el fin de determinar la metodología más apropiada para el diseño de un producto, se plantean y aplican una serie de criterios para la selección de la metodología enfocándose en un producto dirigido al sector eléctrico.

El planteamiento de los criterios, se hizo teniendo en cuenta la información obtenida de la revisión sistemática desarrollada anteriormente, en la cual se obtuvo un conjunto de documentos que exponen y desarrollan una serie de pasos para el diseño de un producto y/o mecanismo en este caso. Los criterios se plantearon a partir de esa serie de pasos previamente estructurados, ver **Tabla 6**.

Tabla 6. Criterios de selección de metodologías para el diseño de potenciales mecanismos de MVE.

C.1	¿Propone métodos de desarrollo?
C.2	¿La metodología se desarrolla desde el enfoque ingenieril?
C.3	¿La metodología esta aplicada a un caso de estudio en el sector eléctrico en particular?
C.4	¿Se puede aplicar de forma genérica la metodología a otros casos?
C.5	¿La metodología está asociada al desarrollo de un nuevo producto?
C.6	¿La metodología implica llegar hasta el mercadeo del producto?

Fuente: Propia

Los criterios consisten en:

C1: Indica si durante el desarrollo de la propuesta de diseño del producto en el documento, se plantea un conjunto de etapas organizadas constituyentes de métodos.

C2: La metodología propuesta tiene un nivel mayor de enfoque en el área de ingeniería.

C3: Se asocia a la aplicación de la metodología para el diseño del producto en un caso de estudio de la industria eléctrica.

C4: Hace referencia a que la metodología desarrollada, se puede adaptar de manera general a otros casos de estudios diferentes a los propuestos en cada documento.

C5: Si la metodología está propuesta al diseño de un nuevo producto y no a la mejora de este.

C6: La metodología está enfocada a las diferentes áreas de una empresa, es decir, desarrolla todo el mercadeo de la empresa, siendo esto favorable ya que analiza las variantes de producción, siendo así una metodología más completa.

A continuación, se listan los criterios que cumple cada metodología, ver **Tabla 7:**

Tabla 7. Criterios cumplidos por las 8 metodologías seleccionadas.

Metodologías	C1	C2	C3	C4	C5	C6
MD.1	x	X	x		x	
MD.2	x	X		x	x	x
MD.3	x	X	x			
MD.4	x			x	x	
MD.5	x			x	x	
MD.6	x	X		x		
MD.7				x	x	
MD.8	x	X		x	x	x

Fuente: Propia.

DEFINICIÓN DEL NIVEL DE IMPORTANCIA DE LOS CRITERIOS

Después de planteados los criterios necesarios para la selección más idónea de la metodología de diseño de un producto, se requiere establecer un nivel de importancia para cada uno de estos, puesto que dichas pautas establecidas varían una de la otra respecto a su relevancia en el desarrollo y aplicación de la metodología en el contexto del diseño y desarrollo de un producto.

Por consiguiente, se llevó a cabo una evaluación de los criterios propuestos anteriormente que permite la definición de dicho nivel de prioridad, en la cual se asignaron, de manera individual, un porcentaje de relevancia a cada uno de los criterios a partir del conocimiento adquirido en la investigación realizada respecto a metodologías de diseño y desarrollo de un producto. La evaluación es realizada por

los 3 miembros del grupo de trabajo, en ella se hace una ponderación en porcentaje del nivel de importancia de cada criterio según el evaluador, estos niveles de importancia se procesan y se establece una ponderación general, ver **Tabla 8**.

Tabla 8. Asignación de nivel de importancia de cada criterio de selección.

Criterios	Evaluador 1	Evaluador 2	Evaluador 3	Suma	Ponderado
C1	20 %	20 %	20 %	60 %	20 %
C2	15 %	20 %	20 %	55 %	18.3 %
C3	15 %	15 %	15 %	45 %	15 %
C4	20%	15 %	20 %	55 %	18.3 %
C5	5 %	10 %	5 %	20 %	6.7 %
C6	25 %	20 %	20 %	65 %	21.7 %
Total	100 %	100 %	100 %	300 %	100 %

Fuente: Propia.

Comparación de metodologías

Se realiza una evaluación de las 8 metodologías, a partir de los criterios de selección previamente establecidos, con el respectivo nivel de ponderación, es decir, en el caso de que las metodologías no cumplan el criterio les corresponderá un valor nulo y por el caso contrario, si este cumple correctamente con el criterio se le asigna el valor porcentual establecido, ver **Tabla 9**.

Tabla 9. Cumplimiento de criterios de las 8 metodologías evaluadas.

Metodologías	C1	C2	C3	C4	C5	C6	Total
MD.1	0%	18,30%	15%	0%	6,70%	0%	40%
MD.2	20%	18,30%	0%	18,30%	6,70%	21,70%	85%
MD.3	20%	18,30%	15%	0%	0%	0%	60%
MD.4	20%	0%	0%	18,30%	6,70%	0%	45%
MD.5	20%	0%	0%	18,30%	6,70%	0%	45%
MD.6	20%	18,30%	0%	18,30%	0%	0%	57%
MD.7	0%	0%	0%	18,30%	6,70%	0%	25%
MD.8	20%	18,30%	0%	18,30%	6,70%	21,70%	85%

Fuente: Propia.

DETERMINACIÓN DE LA METODOLOGÍA

A partir de la evaluación comparativa de las metodologías que apoyan el diseño de un producto, se realiza la selección de las más relevantes y acordes para ser aplicada al caso de estudio, esto con base en la asignación del nivel de relevancia previamente definido. Las metodologías que generan un mayor acople al desarrollo del mecanismo que permita la implementación del MVE en Colombia en estratos 1 y 2 son **MD.2**, **MD.3** y **MD.8**, puesto que, según los criterios requeridos y establecidos anteriormente, tienen un nivel más alto de relevancia, ver **Tabla 10**. La aplicación de manera directa e individual de estas metodologías no permite llevar a cabo el desarrollo de un procedimiento que apruebe el diseño de potenciales mecanismos, visto este como producto, puesto que, las etapas de las metodologías **MD.2** y **MD.8** están orientadas a las diferentes áreas que componen una empresa, no al diseño específico de un producto y el alcance del presente trabajo de grado no llega hasta ese nivel, así mismo, la metodología **MD.3** se enfoca en la mejora de la calidad de una empresa, a través de la identificación de errores, defectos y retrasos en los diferentes procesos de diseño de productos, es decir, esta no plantea las pautas específicas pero si se puede acoplar parte de estas para el planteamiento de diseño de un producto, por esta razón, se considera que es necesario recopilar de las 3 metodologías más valoradas, ver **Tabla 10**, las etapas que se requieren y que más se ajustan al diseño y conformar la metodología más idónea para el desarrollo del producto requerido.

Tabla 10. Etapas de las 3 metodologías seleccionadas.

METODOLOGÍAS	MD.2	MD.3	MD.8
ETAPAS	<ul style="list-style-type: none"> -2. Estrategia de negocios. -1. Desarrollo de negocios 0. Equipo 1. Planeación 2. Conceptualización 3. Diseño esquemático. 4. Especificación. 5. Desarrollo técnico. 6. Producción 7. Pruebas. 8. Presentación del producto. 9. Reciclaje 	<ul style="list-style-type: none"> 1. Definición 2. Medición 3. Análisis 4. Mejora 5. Control 	<ul style="list-style-type: none"> 1. Introducción 2. Revisión de la dirección 3. Diagnóstico 4. Planeación <ul style="list-style-type: none"> • Desarrollo del concepto • Ingeniería del producto • Ingeniería del proceso • Producción • Pruebas del producto • Servicio postventa 5. Ejecución del proyecto 6. Retroalimentación y mejora continua

			7.Expansión de la ingeniería concurrente
--	--	--	--

Fuente: Propia.

Con base en la información que proveen las 3 metodologías y a la comparación de las etapas que estas establecen para su desarrollo adecuado, ver **Tabla 10**, se plantea un procedimiento de diseño, que permita el desarrollo de los potenciales mecanismos, y está constituida por un conjunto de 7 etapas:

1. Planeación

Esta etapa es tomada de la etapa planeación de la metodología 2, dado que esta despliega adecuadamente el planteamiento de la problemática a desarrollar, es decir, lo hace de manera completa, permitiendo así, conocer las limitaciones, entender y dimensionar el problema [63]

2. Ingeniería del producto y análisis

Esta etapa es conformada con aspectos de la metodología 3 y 8, la etapa de planeación de la metodología 8, propone una sub etapa de *ingeniería del producto* que busca un diseño más completo del producto y establece la definición de especificaciones técnicas, desarrollando un punto que es considerado indispensable en el planteamiento de un producto [70], además la metodología 3, propone, en la etapa *análisis*, un planteamiento de objetivos de desempeño del producto, siendo esto, de igual manera, importante para dicho planteamiento [64] [65].

3. Mejora

Esta etapa es tomada de la metodología 3, donde se propone una etapa de *mejora* en la que se generan diferentes soluciones para la problemática planteada en la etapa de *planeación*, con el objetivo de seleccionar la mejor solución, dándole así, un correcto procedimiento de selección a esta [64] [65].

4. Diseño esquemático

Esta es tomada de la metodología 2, en la cual se plantea la etapa de *diseño esquemático*, en la que se desarrolla una evaluación o validación de la mejor solución seleccionada a través de simulación y testeo, estas conllevan a un análisis del diseño planteado, permitiendo realizar las correcciones pertinentes a este [63], siendo este un adecuado proceso de validación de la solución.

5. Especificaciones, desarrollo técnico e ingeniería del proceso.

La metodología 2, propone las etapas de *Especificaciones y desarrollo técnico*, estas etapas proponen el diseño de un prototipo basado en el diseño planteado y seleccionado, un estudio de costos, proveedores y de un análisis estructural del producto, posterior a la elaboración de este se desarrollan inspecciones de preproducción y se define el plan de ingeniería del proceso [63], adicionalmente la etapa de planeación de la metodología 8 desarrolla 2 subetapas *Ingeniería del producto e ingeniería del proceso*, estas generan aportes para el desarrollo de esta etapa, puesto que, la subetapa *ingeniería del producto* propone el desarrollo de un prototipo y las respectivas pruebas de este para así entender el funcionamiento del mismo y realizar las correcciones pertinentes, por otra parte, la subetapa *ingeniería del proceso*, define el proceso de manufactura necesario para la fabricación del producto [70]. Estas 2 metodologías, aportan adecuadamente al diseño de un producto, dado que, la forma correcta de evaluación, antes de realizar una producción, es realizar pruebas en un prototipo físico.

6. Producción

Para la formación de esta etapa contribuye la etapa de *producción* de la metodología 2 y es apoyada por la etapa de planeación de la metodología 9, que propone una subetapa de *producción*. Después de todo el análisis, diseño y evaluación del producto, se procede a la elaboración del producto, es aquí donde dichas etapas contribuyen, en las cuales se propone toda la manufactura de este [63] [70].

7. Presentación del producto al mercado

Esta es dada por la metodología 2, que plantea una etapa de *Presentación del producto al mercado*, en la cual se genera la estrategia de presentación del producto al mercado [63].

A continuación, se amplían las definiciones de las etapas y las características que se proponen para el progresivo cumplimiento:

1. Planeación [63]:

En esta se plantea el problema a ser creado o mejorado, para esto es necesario conocer, entender y dimensionar este, es decir, se determina la finalidad del proyecto y se realiza un estudio del espacio donde esta se desarrolla, el cual define los límites de control del proyecto, es aquí también donde se plantean el área en el que se va a desempeñar y los orígenes del mismo. El objetivo de esta etapa, es disponer de un documento o material referencial, concreto y con los anexos necesarios para la explicación y/o comprensión de la problemática, así como un núcleo de información vital que caracteriza y da viabilidad al producto que se desarrollará; finalmente, con base en esto se debe desarrollar una serie de criterios o prioridades que permitan la elección de la mejor solución.

2. Ingeniería del producto y análisis [64] [65]:

En esta se plantea el producto detalladamente, este se refina y complementa, a través de la identificación de errores y de establecer los requerimientos que debe cumplir el producto y sus especificaciones técnicas, operativas y socioeconómicas, es decir, se realiza una definición detallada del producto a generar; también necesario que se planteen los objetivos de desempeño que debe cumplir el producto.

3. Mejora [64] [65]:

Se plantea el diseño de varios productos basado en las especificaciones anteriormente planteadas, generando las diferentes soluciones posibles que puedan dar cumplimiento a los requerimientos y finalmente, se debe realizar una descripción del producto seleccionado.

4. Diseño esquemático [63]:

En esta se analiza y evalúa la selección realizada anteriormente, esto permite verificar si dicha solución funciona, cumple adecuadamente con los requerimientos y si se desempeña adecuadamente, para así realizar las correcciones pertinentes de la solución potencial.

5. Especificaciones, desarrollo técnico e ingeniería del proceso [63] [70]:

Se establece la definición final del producto y sus características tales como: dimensiones, materiales, ensamblaje, empaque, etc. Después de establecidos los detalles finales se realiza un análisis a los costos de producción de este y finalmente, se procede a realizar un prototipo que permita realizar pruebas que generen un campo más amplio de conocimiento con el fin de verificar el producto y refinar así las falencias aún existentes. En esta etapa, también se define el proceso de manufactura necesario para la fabricación del producto y de cualquier tipo de herramienta requerido para la manufactura del mismo.

6. Producción [63] [70]:

En esta se debe adquirir todos los materiales y equipos necesarios para la masificación del producto planteado, continuando así con la fabricación de este.

7. Presentación del producto al mercado [63]:

En esta etapa se define la estrategia de distribución hasta el usuario del producto ya elaborado y su publicidad.

El alcance del presente trabajo solo llega hasta la etapa 4, puesto que para el cumplimiento de los objetivos no es necesario un desarrollo a nivel de comercialización y/o mercadeo tan amplio, ya que para estos no hay compromiso en el presente trabajo de grado, sin embargo, se dejan planteadas las etapas posteriores dado que para estudios futuros se hace necesario un procedimiento de diseño de producto completo.

CAPITULO 2

DISEÑO DE MECANISMOS DE MÍNIMO VITAL DE ENERGÍA

Para el diseño de los potenciales mecanismos se hará uso del procedimiento definido, pero antes se realizará una contextualización de los tipos actuales de medidores de energía (funcionalidades básicas con las que operan actualmente) y sus respectivas técnicas de medición asociadas. Finalmente, se desarrollan las etapas del procedimiento de diseño, teniendo en cuenta los alcances del presente trabajo de grado.

La primera etapa del procedimiento metodológico: Planeación, sugiere establecer inicialmente una serie de criterios con el fin de limitar, diseñar y seleccionar el potencial mecanismo MVE:

2.1 Criterios para la comparación y selección del potencial mecanismo MVE

Con el fin de determinar el mecanismo más apropiado para llevar a cabo la implementación del MVE por parte del OR, se plantean y aplican una serie de criterios para su selección, estos concebidos tanto desde el interés del OR como del usuario final. El planteamiento de los criterios, se hizo teniendo en cuenta los siguientes aspectos:

Primero, es importante que el OR, una vez se seleccione la tecnología esta, garantice el cubrimiento del MVE en el porcentaje más alto de la población de los estratos 1 y 2. Segundo, se hace indispensable en la selección del mecanismo MVE, que este realice la lectura del consumo del flujo de potencia de los usuarios, de la forma más confiable con el propósito de minimizar las pérdidas tanto para los usuarios como para el OR, puesto que el flujo de potencia consumido será cobrado con más exactitud. Tercero, es preciso realizar un ejercicio de cálculo de costos del sistema que le permita al OR determinar una relación costo/beneficio con respecto a tecnologías tipo AMI costosas pero que no incorporan el MVE. Finalmente, es importante tener en cuenta el periodo

de vida útil del sistema, con el fin de asegurar a los usuarios y al OR un mecanismo MVE eficiente y perdurable.

Después de realizar el análisis previo se definen los criterios para la selección del mecanismo MVE, ver **Tabla 11**.

Tabla 11 Criterios de selección del potencial mecanismo MVE.

CRITERIOS DE SELECCIÓN DEL MECANISMO MVE	
C.1	¿El mecanismo permite que el OR brinde la mayor cobertura en MVE para los usuarios de los estratos 1 y 2?
C.2	¿La lectura del flujo de potencia en el medidor que utiliza el mecanismo, es la más confiable tanto para el cliente como para el OR?
C.3	¿El costo de la adaptación del mecanismo es viable con respecto a la relación costo/beneficio para el OR?
C.4	¿La vida útil del sistema que garantice la implementación del mecanismo es considerable en una posterior implementación del MVE por parte del OR?

Fuente: Propia

Dichos criterios consisten en:

C1: Cuando un OR realiza una inversión en tecnología, en este caso de MVE, espera que esta permita garantizar el servicio al mayor porcentaje de la población, en este caso de los estratos 1 y 2, por lo que se debe determinar que mecanismo permite que el OR logre impactar con el servicio de MVE a la mayor cantidad de usuarios.

C2: Hace referencia a la confiabilidad en la lectura del flujo de potencia realizada por la adaptación del mecanismo, dependiendo de las características de la señal de salida de los medidores de usuario, de tal forma que se garantice un cobro justo por la energía tanto consumida como suministrada.

C3: Indica si la adaptación al medidor implícito en el mecanismo seleccionado, es competitivo en una relación costo/beneficio para el OR, en el cumplimiento de una potencial regulación por parte de la CREG que obliga a la implementación del MVE.

C4: Hace referencia al periodo de usabilidad que presenta el sistema garante del mecanismo a seleccionar, el cual permita implementar el MVE en general.

Después de planteados los criterios necesarios para la selección más idónea del mecanismo MVE, se requiere establecer un nivel de importancia para cada uno de estos, puesto que dichas pautas establecidas varían una de la otra respecto a su relevancia en el diseño y selección del dicho mecanismo. La evaluación de los criterios es realizada por los 3 miembros del grupo de trabajo, en ella se hace una ponderación en porcentaje del nivel de importancia de cada criterio según el evaluador, estos niveles de importancia se procesan y se establece una ponderación general, ver **Tabla 12**.

Tabla 12 Asignación de nivel de importancia de cada criterio de selección.

Criterios	Evaluador 1	Evaluador 2	Evaluador 3	Suma	Ponderado
C1	20 %	23 %	17 %	60 %	20 %
C2	30 %	27 %	33 %	90 %	30 %
C3	40 %	41 %	40 %	121 %	40,3 %
C4	10%	9 %	10%	29 %	9,7 %
Total	100 %	100 %	100 %	300 %	100 %

Fuente: Propia.

2.2 Medidores y Técnicas de medición de energía Eléctrica

Para entender el funcionamiento o modo de operación de los diversos medidores de energía eléctrica en el mercado y de las técnicas de lectura de medición que en ellos se implementan, se hace necesaria su descripción, con el fin de delinear los potenciales mecanismos en los que se puedan llevar a cabo una correcta y eficiente aplicación del MVE en Colombia para estratos socio económicos bajos.

A continuación, se hace una descripción de los diferentes modos de operación de los medidores de *energía eléctrica* y sus correspondientes técnicas de lectura asociadas:

2.2.1 Medidores de energía eléctrica

Los diferentes diseños y tipos de medidores de energía pueden inducir al desarrollo e implementación de diversas técnicas de lectura, las cuales establecen parámetros de medición con base en la funcionalidad.

Las funciones desarrolladas por un medidor de energía se pueden clasificar de la siguiente manera [71]:

- Funciones con impacto en la facturación (medida, entradas de impulso, control de tarifa, retención de información de facturación).
- Funciones sin impacto en la facturación, pero con sensibilidad hacia el usuario (Alarmas).
- Funciones auxiliares (Gestión remota, salida de información del usuario, y medidas de diversas variables ajenas al proceso de facturación).

Por otra parte, se debe priorizar el agrupamiento de las funciones, con el fin de elaborar un conjunto homogéneo de equipos y tecnologías asociadas. Manteniendo este enfoque, la GTC 122, define los siguientes tipos de medidores de energía [71]:

- **Básicos:** medidores electromecánicos, sin dispositivos internos de control de carga o tarifa.
- **Estáticos:** Medidores electrónicos, los cuales se dividen en los siguientes grupos:
 - Sencillos, sin dispositivos de control de carga o tarifa, pero con mayor exactitud en la medida que los básicos.
 - Con funciones adicionales como: conectividad a las redes, lectores de pago, corte y reconexión, entre otros.

Dentro de todo este universo de medidores, existen cierto tipo de medidores especiales tales como: los Multitarifa y los Multienergía; los cuales son utilizados por las grandes industrias y empresas que generen gran demanda de *flujo de potencia*, por lo que su uso es estrictamente industrial. Para implementar el MVE, se hace necesario el uso de medidores más elementales, por lo que a continuación, se describen de acuerdo a la GTC 122 los medidores considerados en el presente trabajo de grado, mayores detalles de la GTC 122 ver *ANEXO D VISITA TÉCNICA AL LABORATORIO DE ENERGÉTICA DE OCCIDENTE*.

A. Medidores electromecánicos (sistema Postpago)

Este tipo de medidores básicos, poseen 2 bobinas (una de tensión y una de corriente) que al ser energizadas originan un campo magnético, que a su vez actúa sobre un disco conductor magnético codificado y soportado en un eje; la rapidez del disco cambia de acuerdo a la magnitud de la carga a la cual se encuentre conectada. El eje tiene un sinfín que hace contacto con un piñón y se conecta con otros en un sistema de transmisión mecánica hasta llegar al numerador o registro. La composición depende del fabricante, el cual dice en la constante, cuantos giros debe dar el disco para generar un KWh (Unidad de medida de la potencia real calculada por hora), ver **Figura 2** [72]. Cabe resaltar que con este tipo de medidor se implementa un sistema de compra y venta Postpago del servicio, que implica el cobro de costos adicionales ya sea por comercialización y/o distribución, como por el pago al personal encargado de las funcionalidades manuales de lectura, corte y reconexión del servicio.

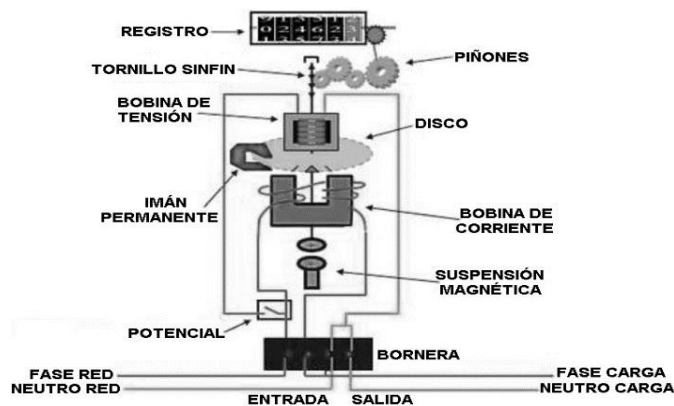


Figura 2. Estructura del medidor electromecánico de energía eléctrica.

Fuente: Tomado de [72]

B. Medidores electrónicos (sistema Postpago)

Medidor estático generalmente está compuesto por una tarjeta electrónica, la cual contiene un chip encargado del procesamiento de los datos (tensión y corriente), recibidos de conversores de 16 bits de señal análoga a digital, con el fin de calcular la potencia consumida por cada usuario, en otras palabras, la lógica necesaria para realizar mediciones del flujo de potencia, ver **Figura 3**. Además de controlar en forma directa un contador con motor electrónico de paso, que produce la lectura, permitiendo de esta manera el cálculo estable y preciso por encima de las variaciones de tiempo y medio ambiente. Por otro lado, implementa funcionalidades de lectura por pulsos diferenciándolo de su antecesor [72].

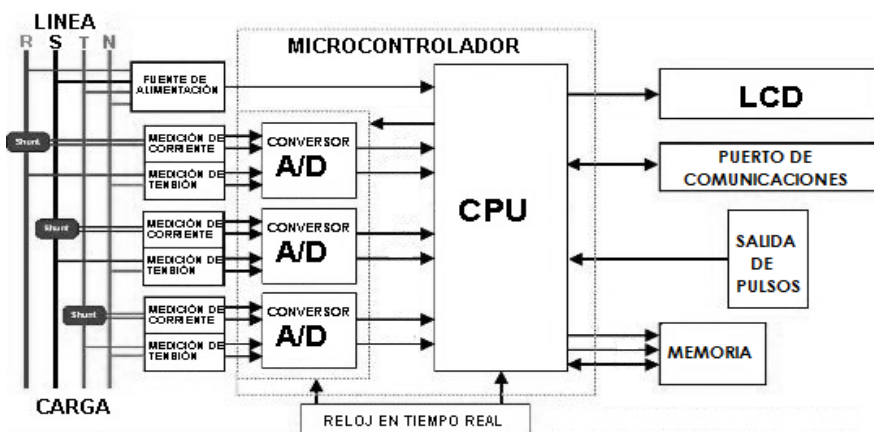


Figura 3. Estructura del medidor electrónico de energía eléctrica.

Fuente: Adaptado de [72]

C. Medidor prepago (sistema prepago)

Este tipo de medidor estático, transfiere señales de tensión y corriente a un chip especial de medición, con el objetivo de convertirlas en señales digitales y de este modo centrarse en la lectura y cálculo de datos del flujo de potencia a partir de una interfaz especializada. Además, implica la programación de periodos de tiempo mediante una tarjeta controladora, la cual registra los consumos periódicos para una posterior visualización en una pantalla LCD o extraer dicha información a través del puerto de comunicación local incorporado, asimismo, proporciona la lectura de una tarjeta inteligente o códigos por medio de un teclado o sensor adaptado. Se resalta la integración de señales de alarma y corte del suministro eléctrico, ver **Figura 4**.

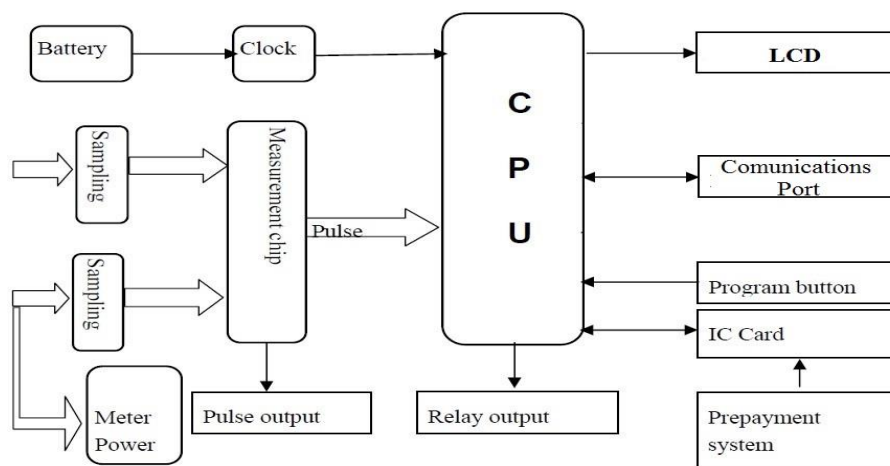


Figura 4. Estructura de un medidor electrónico de energía eléctrica con sistema prepago.

Fuente: Adaptado de [73]

El sistema de prepago *fuera de línea*, consiste en comprar tarjetas de cierto valor monetario equivalentes a un valor predeterminado de KWh, instalado en una casa tradicional. De esta manera, la cantidad de energía registrada en un medidor que circulará hacia la residencia, estará restringida al total del valor ingresado en el medidor; este tipo de mecanismo es eficiente en ambientes rurales. Por otra parte, el sistema de prepago *en línea*, se fundamenta en transformar de manera eficiente la forma en que los usuarios realizan la recarga al medidor, siendo posible el uso de servidores virtuales a los cuales se puede acceder de manera remota por parte de los administradores y/o usuarios del sistema, por consiguiente, se obtiene una mayor seguridad y control de los datos [73]. Dado lo anterior, en los 2 tipos de sistema prepago, cuando queda poco saldo el medidor da una alerta sonora o visual para que el usuario se preocupe de comprar una nueva tarjeta o acceder de manera remota a su recargo, antes de quedar sin flujo de potencia.

Los medidores prepago, poseen componentes de lectura del flujo de potencia unidireccional y corte/reconexión automáticos, más no contienen características que les permita a los OR realizar gestión sobre los datos de consumo y sobre las acciones de corte y reconexión, en otras palabras, una comunicación bidireccional.

D. Medidor inteligente

Equipo electrónico encargado de la lectura y registro de la cantidad de energía producida y/o consumida, además de otras variables eléctricas, las cuales pueden ser transferidas por medio de una red de comunicación al sistema encargado de la gestión de datos, así como recepción de la información, detección de eventos, tecnologías de comunicaciones y ser usado como plataforma básicamente entre la empresa y el hogar; implementando tareas y funcionalidades básicas tales como: corte y reconexión, lectura del medidor por medio de conectividad a redes remotas y la integración de facilidades de interacción con el usuario, ver **Figura 5** [74].

A continuación, se citan otro tipo de funciones que distinguen a los “medidores inteligentes” de los descritos con anterioridad:

- **Control de robo de energía eléctrica:** Ciertos medidores pueden detectar fraude mostrando situaciones inusuales, como el no registro del consumo del flujo de potencia por un periodo no mayor a 24 horas [75].
- **Registro y almacenamiento de datos:** La mayoría de los medidores realizan el registro y almacenamiento de información; sin embargo, la forma en que se registran y almacenan esos datos (perfiles de carga, eventos tales como: perturbaciones, caídas, subidas de tensión, cortes y reconexiones de suministro eléctrico) pueden definir la diferencia entre ellos [76].
- **Control de electrodomésticos inteligentes:** Algunos medidores del tipo inteligente, reducen el tiempo de utilización de electrodomésticos inteligentes durante horas pico del consumo de energía, lo cual implica una tarifa de mayor costo y el encendido automático en periodos de bajo costo [77].

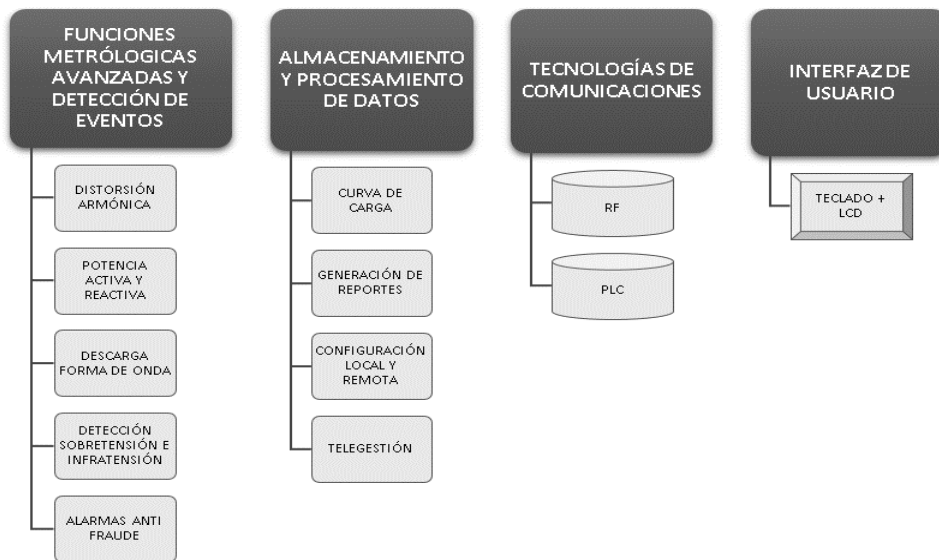


Figura 5. Características de un medidor inteligente de energía eléctrica.

Fuente: Tomada de [78]

2.2.2 Técnicas de lectura de medición energía

A. Tradicional

Este tipo de lectura de medición de energía convencional requiere realizar la lectura del medidor de forma manual por parte de un operario. Los valores obtenidos de la lectura son digitalizados por otro funcionario y almacenados en la base de datos del OR. Posteriormente al usuario le llega una factura y realiza un pago (*Postpago*). En su estructura, se observa que cada usuario está identificado con un ID y un código de ubicación geográfica denominado Ruta, dispuesto con el fin de guiar al funcionario que toma la lectura del medidor, ver **Figura 6**. Una de las desventajas de este tipo de sistema es su vulnerabilidad frente a cualquier tipo de error humano, dado que utiliza procesos manuales tanto para la toma de lectura del medidor como para la digitalización. Asimismo, su tiempo de respuesta es dependiente del tiempo que toma en llegar hasta la base de datos. Adicionalmente, la respuesta que recibe el usuario depende de la agilidad con que la empresa prestadora del servicio opere. De este modo, en caso de que un usuario requiera una reconexión del servicio, deberá esperar a que la empresa envíe un funcionario que realice dicha labor [76].

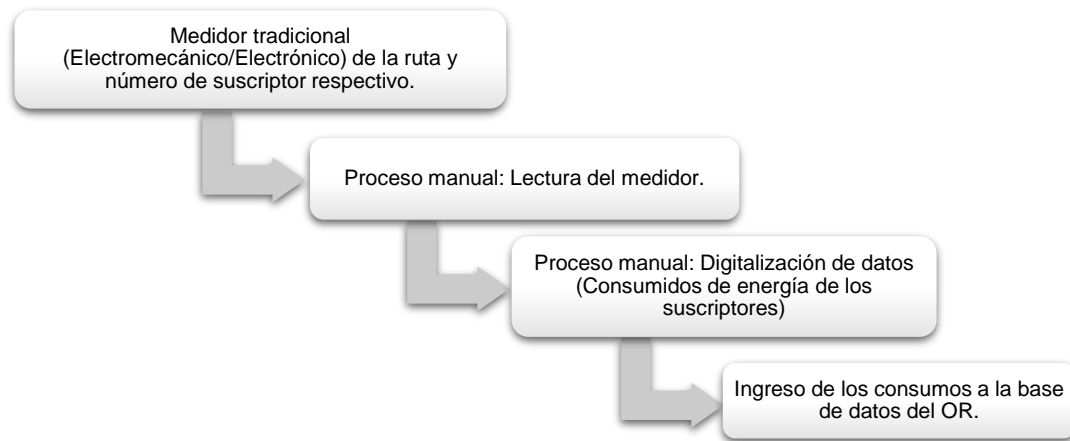


Figura 6. Secuencia de funcionamiento del sistema de lectura tradicional
Fuente: Tomada de [76]

Otra de las grandes desventajas del sistema de medición tradicional, es que no permite implementar mecanismos acordes con los cambios de técnicas de lectura de medición de energía, tales como *el prepago*, que permiten la gestión y programación del medidor por parte del usuario y el OR.

B. AMR – Lectura de Medición Automática

Se define como una técnica de lectura de medición unidireccional de recaudación del consumo del servicio de energía, así como de su diagnóstico, el estado de la información medida y del envío de dicha información a una base de datos central para una posterior facturación, resolución de problemas y análisis preventivo. Esta tecnología representa un avance en las tecnologías de medición eléctrica que utilizan los OR, ya que con la tradicional se limitaban solamente a mecanismos de pago postpago; esta permitirá un mecanismo de pago prepago o continuar con el anterior, economizando a los OR los gastos periódicos de la lectura antes manual de cada medidor. Por otra parte, la facturación se puede observar como una ventaja, ya que se puede establecer en el consumo al instante en el mismo medidor y no evaluaciones basadas en consumos previos; esta información, apoyada de un análisis puede ayudar tanto al OR como a los usuarios, significando una mejora en el control del uso, producción y/o consumo de energía, ver **Figura 7**. Cabe resaltar que periódicamente la medida es recibida por el OR, más no permite una gestión completa de los datos y/o variables de medición y corte/reconexión.

Sin embargo, existe un complemento a este tipo de tecnología: AMR + PLUS, el cual consiste en la adaptación de un dispositivo GSM / GPRS con reloj en tiempo real, al medidor de energía eléctrica AMR, capaz de enviar, recibir y actualizar información de forma remota, además puede medir la calidad de la red e incorpora

funcionalidades de microgestión y macrogestión para los medidores vecinos (expandible hasta 255 medidores); por último, es destacable su detección de corrupción y que es totalmente configurable (SMS, alarmas, información) [79].

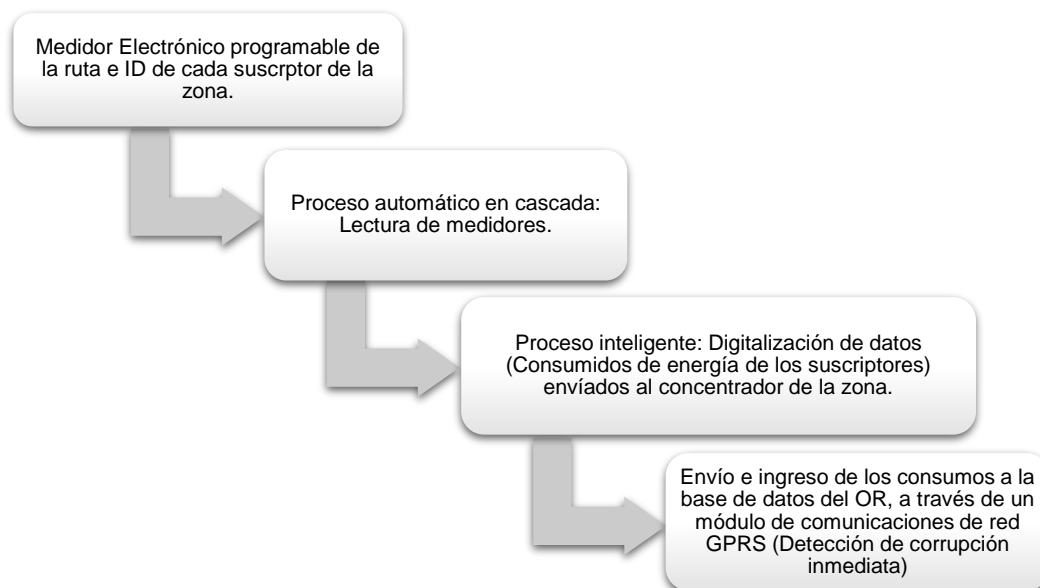


Figura 7. Secuencia de funcionamiento del sistema de lectura AMR+PLUS.

Fuente: Tomada de [79]

C. Smart Metering

Una “red inteligente” (Smart Grid) es una red de energía avanzada, la cual incorpora los diferentes servicios y/o beneficios de la computación digital y las tecnologías de comunicación a una plataforma de transmisión y distribución de *energía eléctrica*, caracterizada por el envío bidireccional de energía y datos que contienen los equipos instalados en la red del usuario, así como los sensores incorporados. Igualmente, la “red inteligente” demanda distintas tecnologías y en especial de aquellas que permitan notificar, monitorizar e inspeccionar para mantener constantemente la interacción con el usuario, esto con el objetivo de reducir al máximo los gastos generados por las actividades del sistema eléctrico, de mejorar la eficiencia de las redes, además de incrementar su seguridad, maleabilidad y disponibilidad. Como este tipo de red solicita que la información este en tiempo real, es preciso un equipo de medida diferente al medidor electromecánico o electrónico tradicional y con prestaciones especiales. Dado lo anterior, es necesaria una nueva forma de medición denominada *Smart Metering* o “*medición inteligente*”, la cual emplea un sistema de multiproceso simultáneo incluyendo facturación, curvas y control de consumo, gestión de averías, almacenamiento y medición bidireccional de información en tiempo real (mediante un puerto HAN -Home Area Network), de las cuantías de energía (consumida y/o producida), ver **Figura 8**; junto

con otro tipo de factores relacionados, tales como: la frecuencia, la tensión y la corriente, mediante una plataforma y/o infraestructura que posibilite la comunicación e integración con la red [76].

D. AMI – Infraestructura de Medición Avanzada

La técnica de lectura de medición AMI, es la siguiente evolución tecnológica en cuanto a la medición de energía, permite la lectura del consumo de la potencia instantánea o de la energía acumulada, además de la administración de las diferentes variables y datos involucrados en el proceso de medición, admitiendo opciones de precios diferenciados por tipo de registro de la demanda o de medida y la programación de intervalos de tiempos de carga previamente acordados con el usuario [80].

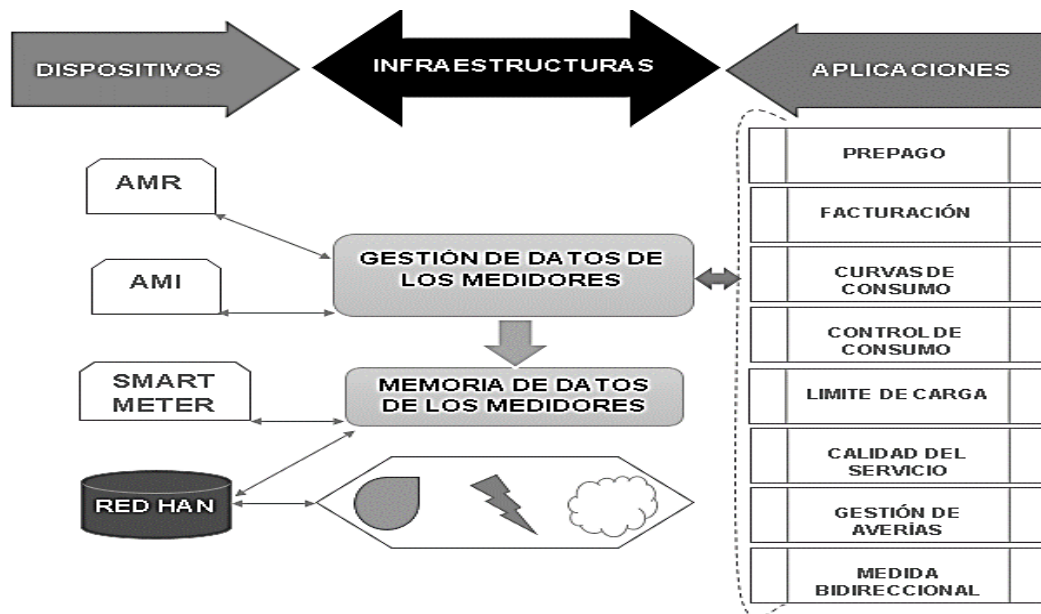


Figura 8. Estructura general de los sistemas de lectura inteligentes.

Fuente: Tomada de [80]

Habiendo, establecido las definiciones y aspectos generales de los diferentes tipos de medidores de energía eléctrica y de sus técnicas de lectura de medición asociadas, se realiza el diseño de los potenciales mecanismos considerando la adaptación de las diferentes tecnologías de medición, que implementan actualmente los OR en la red de suministro y distribución energética. Lo anterior, teniendo en cuenta la aplicación de las etapas del procedimiento de diseño definido.

2.3 Diseño de mecanismos

Se aplicará el procedimiento de diseño del mecanismo para implementar el MVE en estratos socioeconómicos bajos en Colombia, sin embargo, del mismo se desarrollarán solo las 4 primeras etapas; esto en razón a que con los 4 primeros pasos del procedimiento de diseño se logran cumplir los objetivos del presente trabajo de grado.

2.3.1 Planeación

En la actualidad, es limitada la documentación de proyectos con respecto a estudios normativos, regulatorios y de implementación de mínimos vitales de los servicios públicos domiciliarios, sin embargo, esta tendencia ya inició en el mundo y en Colombia, empezando por el mínimo vital de agua, después de esto seguirá la energía eléctrica y/o el gas; será solo cuestión de tiempo. Del ejercicio de revisión sistemática realizado en la sección 1.2 se generó un listado de conceptos básicos identificados en la implementación del mínimo vital de agua, el más desarrollado:

- Consumo de subsistencia.
- Corte y reconexión del flujo de servicio.
- Dos modalidades de pago: Postpago y Prepago.

Dada la revisión de información, *ver sección 1.2*, cuanto a la prestación del servicio de energía eléctrica, el siguiente listado recoge los actuales elementos disponibles que aportan sobre mínimo vital de energía en Colombia:

- Un marco jurídico para la implementación del mínimo vital a todos los servicios públicos domiciliarios (proyecto de ley 101).
- Normativas y leyes aplicadas solo para el otorgamiento de subsidios.
- Consumo de subsistencia fijado en 130 y 173 Kwh/mes dependiendo de si se está a una altura mayor o menor a los 1000 metros sobre el nivel del mar.

Los anteriores conceptos del mínimo vital de agua y actual prestación del servicio de energía eléctrica deben ser tenidos en cuenta en implementación del MVE en Colombia. Igualmente hay que tener en cuenta que en Colombia está propuesto un marco jurídico para la implementación de mínimos vitales para todos los servicios públicos domiciliarios [21], por otro lado, está en discusión un proyecto de autorregulación a pequeña escala de instalación de tecnologías de medición inteligente, con el fin de que para el año 2030 el 95% de los usuarios urbanos en el país cuenten con este tipo de tecnologías [81].

Por otra parte, también se debe tener en cuenta que los medidores de energía eléctrica convencionalmente instalados, no tienen incorporadas las características técnicas de los nuevos medidores inteligentes, los cuales permiten llevar a cabo una comunicación bidireccional, que brinda la capacidad de generar corte y reconexión del suministro eléctrico, facilitando la gestión del OR sobre el uso y consumo del medidor residencial

independientemente de la zona. Finalmente, el proceso de distribución y comercialización de la energía eléctrica en Colombia, sigue una modalidad de pago Postpago, en la cual se genera el pago de la factura después de consumido el flujo de potencia [47]. Por consiguiente, teniendo en cuenta la necesidad de una tecnología que se adapte a la implementación del MVE, las empresas del sector eléctrico colombiano están promoviendo pilotos de tecnologías de lectura automática, para mejorar la prestación del servicio de energético en el país. Dado que para el OR resulta verdaderamente costoso llevar a cabo este cambio de manera inmediata, se hace necesaria una tecnología de transición que por medio de un potencial mecanismo técnico que permita la implementación del MVE adaptándose al actual parque de equipos de medición del sistema eléctrico del país.

2.3.2 Ingeniería del producto y análisis

Con miras a seleccionar un potencial mecanismo, es importante tener claro una serie de requerimientos técnicos, socioeconómicos y operativos para llegar a la implementación de una solución a la problemática previamente expuesta, y establecer posteriormente criterios que permitan llevar a cabo dicha selección de la solución entre los diferentes diseños a proponer.

Primero, se deben establecer una serie de considerandos o “reglas de juego” para la implementación del MVE por parte de los actores implicados en el país, de tal modo que la UPME, CREG, MINMINAS, el OR, los usuarios finales y las múltiples entidades de vigilancia implicadas en Colombia, puedan garantizar en conjunto la ejecución el MVE.

Segundo, hoy en día, la modalidad de pago más comúnmente usada por los usuarios y los OR del sector eléctrico es la postpago, en esta modalidad no se restringe el flujo de potencia en una vivienda y la cantidad consumida se registra y almacena, dicha información llega mensualmente a los clientes a través de facturas; el usuario efectúa el pago del flujo de potencia después de consumida y por mora en el pago, se le corta el flujo [47]. Por otro lado, en países como Sudáfrica, Colombia y Argentina experimentan un nuevo sistema de pago: el prepago, el cual consiste en que el cliente debe pagar con antelación la cantidad de flujo de potencia que consumirá, esto se realiza a través de compra de tarjetas con cierto valor monetario asignado, este es ingresado a un medidor de electricidad electrónico instalado en la vivienda, donde el valor recargado asigna un número de KWh, de esta manera, la cantidad de energía que circulará hacia la casa estará limitada según el valor ingresado en el medidor, adicionalmente, el medidor alerta al usuario cuando el saldo está por finalizar y así pueda generar una nueva recarga [73].

Ahora bien, es importante resaltar que dada la necesidad de implementación del MVE en Colombia, se hace necesario realizar el análisis de la modalidad de pago que mejor se acople al mecanismo en que se desenvuelve este, partiendo de lo que idealmente

necesita un sistema MVE para garantizar dicha implementación. Inicialmente, es de vital importancia que la modalidad de pago que utiliza el sistema del MVE, permita que el flujo de potencia que sea suministrado a los usuarios sea continuo, además de permitirles a los mismos el poder gestionar su consumo y eliminar de esta manera la morosidad que incluye gastos adicionales. Lo anterior, implica que el sistema debe disminuir los fraudes, robos de energía y finalmente facilitar la tarificación de los Kwh a consumir, haciendo más eficiente el sistema eléctrico actual y mejorando la calidad del servicio por parte del OR a los usuarios finales. Por estas razones, se proponen una serie de pautas para efectuar una comparativa entre las 2 modalidades de pago, estas son:

1. ¿La modalidad de pago permite continuidad del flujo de potencia sin ser limitado?
2. ¿La modalidad de pago permite gestión del consumo por parte del usuario?
3. ¿La modalidad de pago permite gestión de curva de consumo por parte del OR?
4. ¿La modalidad de pago disminuye o elimina la morosidad de los usuarios, evitando así la suspensión del flujo de potencia a largo plazo y los cobros adicionales de reconexión?
5. ¿La modalidad de pago reduce considerablemente el gasto de energía, controlando el consumo del flujo de potencia para así ser más eficiente el sistema eléctrico?
6. ¿La modalidad de pago evita robos de energía eléctrica?
7. ¿La modalidad de pago otorga un plazo para realizar pago del flujo de potencia antes de ser retirado?
8. ¿La modalidad de pago permite variabilidad de tarifas?

Tabla 13. Cumplimiento de pautas de selección por las modalidades de pago prepago y postpago

Modalidad de pago	1	2	3	4	5	6	7	8
Prepago		X		x	x	x		x
Postpago	x		x				x	

Fuente: Propia.

Después de realizada la evaluación comparativa entre las 2 modalidades de pago, se observa, ver **Tabla 13**, que la que cumple mayor número de las pautas requeridas anteriormente es la modalidad de pago **prepago**. La implementación de este sistema prepago trae una serie de aportes significativos beneficiando tanto al usuario como al OR, desde el punto de vista del usuario esta permite gestión del consumo, generando así conciencia en el gasto del flujo de potencia para crear una cultura de ahorro y reducir dicho consumo eléctrico, por otro lado, desde el punto de vista del OR, evita la morosidad de los usuarios puesto que deben realizar el pago antes de ser consumido

el flujo de potencia, lo cual evita que se realicen cobros adicionales de corte y reconexión, además reducir los hurtos.

Tercero, el mecanismo que se debe diseñar debe implementar la modalidad de pago prepago con recargas de flujo de potencia realizadas en una modalidad local o cercana al medidor del usuario o bien sea remotas independiente del sitio en donde este se encuentre.

Cuarto, para el OR es muy importante conocer el perfil de consumo de energía de sus usuarios, así estos correspondan a una modalidad de pago prepago, ya que ello le permite una mejor gestión de sus procesos; por ello consultar constantemente los datos y curvas de consumo de estos usuarios por parte del OR y garantizar una comunicación bidireccional con sus usuarios, se convierte en requisito obligatorio para cualquier tecnología que se deba implementar, ya que de esta manera puede ofrecer mejor sus servicios. Los recientes avances en los equipos de medición en las redes inteligentes, facilitan la variación dinámica de picos y tarifas de las cargas de consumo eléctrico, por lo que los clientes son capaces de reaccionar frente a los precios con el fin de gestionar su consumo, lo que incide sobre la curva de carga en los hogares y en los costos de la red [52].

Finalmente, resaltando los puntos ya enumerados, el mecanismo visto desde el lado de los usuarios finales y desde el lado del OR, debe permitir la retroalimentación del comportamiento del consumo, en este caso es de interés tanto para el usuario como para el OR tener un conocimiento de cómo se consume el MVE o de su estado en general.

Después de realizar el análisis previo se definen los requerimientos operativos de los mecanismos, los cuales incluyen las consideraciones y procedimientos genéricos a tener en cuenta a la hora de implementar y garantizar el MVE en Colombia, ver **Tabla 14**.

Tabla 14 Requerimientos operativos del potencial mecanismo MVE.

REQUERIMIENTOS OPERATIVOS	
1	El mecanismo debe funcionar sobre unos considerandos o “reglas de juego” que garanticen el suministro del MVE.
2	El mecanismo debe permitir implementar una modalidad de pago prepago.
3	El mecanismo debe permitir realizar recargas tanto locales como remotas.
4	El mecanismo debe permitir el monitoreo continuo de datos por parte del OR.
5	El mecanismo debe permitir la retroalimentación del estado del MVE.

Fuente: Propia.

Primero, la legislación fijó un consumo de subsistencia básico, a partir de la ejecución de la ley 143, posteriormente el decreto 0355 cambia ese consumo de subsistencia básico de 200 Kwh/mes a: 173 y 130 Kwh/mes dependiendo si se está por arriba o por debajo de los 1000 metros sobre el nivel del mar. Realizar la implementación del MVE implica fijar un valor umbral de consumo de flujo de potencia, en el presente trabajo de grado se propone que este umbral sea fijado de acuerdo a la reglamentación que fija ese decreto y que este valor sea variable de acuerdo a la ciudad en donde sea habilitado el MVE [15] [45].

Segundo, Colombia dentro de su marco jurídico establece para todos los servicios públicos domiciliarios el otorgamiento de subsidios a usuarios de menores ingresos, en condiciones de vulnerabilidad y pobreza, como lo son los estratos socioeconómicos bajos 1 y 2 en el país. Estos subsidios son cubiertos por la recolección de los “fondos de solidaridad y redistribución de ingresos”, que dependiendo del estrato socioeconómico del inmueble se establece el porcentaje financiado. En el presente trabajo de grado, se propone que la tecnología del MVE se aplique a los estratos 1 y 2 que son beneficiados por lo subsidios, como una manera alternativa de protección a este tipo de familia [14].

Tercero, se deben tener en cuenta el tipo de cargas y consumo promedio en los estratos 1 y 2, entre las cuales típicamente se tienen [44]: Una nevera, una licuadora, 8 bombillos, entre otras. Dichas cargas generan un consolidado del consumo mensual de estos hogares, de aproximadamente 118 Kwh [44]. Dado lo anterior, el potencial mecanismo debe estar en capacidad de conmutar las corrientes que se generen por estas cargas.

Finalmente, es necesario tener en cuenta una consideración costo beneficio del mecanismo, con respecto a las actuales tecnologías que podrían ofrecer el mismo servicio. Dado lo anterior el mecanismo debe tener un precio competitivo con respecto a las actuales tecnologías de competencia como AMI.

Considerando lo anterior, se definen los requerimientos socioeconómicos que deben cumplir los potenciales mecanismos que implementen el MVE, **ver Tabla 15.**

Tabla 15. Requerimientos socioeconómicos del potencial mecanismo MVE.

REQUERIMIENTOS SOCIOECONOMICOS	
1	El mecanismo debe permitir fijar un consumo de subsistencia asociado al MVE.
2	El mecanismo debe garantizar la implementación del MVE a estratos 1 y 2 en Colombia.
3	El mecanismo debe funcionar acorde al consumo de las cargas promedio en hogares de estratos 1 y 2 en Colombia.

4	El mecanismo debe tener un precio competitivo con respecto a las actuales tecnologías de competencia como AMI.
----------	--

Fuente: Propia.

2.3.3 Mejora

La lectura y análisis de los requerimientos tanto operativos como socioeconómicos en la **Tabla 14** y **Tabla 15** respectivamente, conduce a determinar que finalmente esto se debe manifestar en unos requerimientos técnicos tanto hardware como software.

En cuanto a requerimientos técnicos hardware, inicialmente el requerimiento operativo 1 indica establecer las reglas de juego o de operación del MVE, como por ejemplo comunicarse con las tecnologías del actual parque de medidores, implica definir un requerimiento hardware 1, en el cual el mecanismo logre comunicación con los medidores de energía electromecánicos, electrónicos y prepagos. Los requerimientos operativos 2 y 3, indican la implementación de una modalidad de pago prepago, en la cual se realicen recargas tanto locales como remotas, haciendo necesario un requerimiento hardware 2, en el cual se defina la posibilidad de generar ese tipo de recargas. En el requerimiento operativo 5, se muestra que es preciso permitir la retroalimentación del estado del MVE, por lo cual se define un requerimiento hardware 3, en donde el mecanismo permita una interfaz hombre-máquina. En los requerimientos socioeconómicos 1 y 3, se observa que debe ser fijado un consumo de subsistencia del MVE además de que el mecanismo funcione acorde a unas cargas promedio de consumo en estratos 1 y 2, así mismo, en el requerimiento operativo 4, se indica que debe permitirse una comunicación bidireccional entre el OR y el mecanismo, por lo que se considera finalmente un requerimiento hardware 5, el cual brinde la posibilidad de realizar corte y reconexión del flujo de potencia teniendo en cuenta el consumo de subsistencia y el consumo de cargas promedio del MVE.

Por otro lado, se encuentran los requerimientos software, inicialmente los requerimientos operativos 3 y 5, definen que el mecanismo debe posibilitar el realizar recargas remotas y la retroalimentación del estado del MVE, por lo que se hace necesario un requerimiento técnico software 5 y un requerimiento software 6, en los cuales se garantice que el mecanismo permita comunicaciones con una plataforma web del OR y además permita que dicha plataforma almacene la información proveniente del mecanismo, respectivamente. En el requerimiento operativo 4, se observa que debe existir comunicación bidireccional entre el OR y el mecanismo, por otra parte, el requerimiento socioeconómico 4, propone que el mecanismo sea competitivo en una relación costo/ beneficio con respecto a las tecnologías AMI, por lo que finalmente se define un requerimiento software 7, en el cual se permite mediante la plataforma web y su infraestructura empleada por el OR, realizar comunicación bidireccional con el mecanismo.

Dado lo anterior, los requerimientos técnicos se dividirán en 4 requerimientos hardware y 3 requerimientos software, ver **Tabla 16**.

Tabla 16. Requerimientos técnicos del potencial mecanismo MVE.

REQUERIMIENTOS TÉCNICOS (HW+SW)	
1	El mecanismo debe permitir comunicación con los medidores de energía electromecánicos, electrónicos y prepagos.
2	El mecanismo debe permitir que el usuario realice recargas tanto remotamente como localmente.
3	El mecanismo debe permitir una interfaz hombre maquina
4	El mecanismo debe permitir que se realice corte y reconexión remotamente al usuario acorde al consumo de subsistencia y al consumo de cargas promedio del MVE.
5	El sistema en el que se implementa el mecanismo debe permitir comunicaciones con una plataforma web.
6	El sistema en el que se implementa el mecanismo debe permitir que la plataforma web cuente con una base de datos para almacenar información proveniente de él.
7	El sistema en el que se implementa el mecanismo debe permitir que la plataforma web realice comunicación bidireccional.

Fuente: Propia.

Teniendo los requerimientos técnicos, en el presente trabajo de grado se fijan una serie de condiciones de diseño e implementación para dar cumplimiento a las características técnicas que permitan la adaptación MVE a los medidores de energía eléctrica, por lo que se establecen las siguientes condiciones técnicas de diseño del mecanismo MVE, ver **Tabla 17**.

Tabla 17. Condiciones técnicas de diseño del potencial mecanismo MVE.

1	En el caso de los medidores electromecánicos se extraerán los pulsos asociados al flujo de potencia de manera analógica con un sensor óptico o de manera digital en los medidores electrónicos y prepago.
2	En el caso de los medidores electromecánicos y electrónicos se contará con un lector de token NFC, un teclado matricial y una plataforma web del OR, para permitir al usuario generar recargas tanto locales como remotas.

3	En el caso de los medidores electromecánicos y electrónicos a través de componentes como una LCD, un parlante y un módulo de comunicaciones, se permitirá consultar los datos de consumo del MVE y generación de alarmas.
4	En el caso de los medidores electromecánicos y electrónicos se contará con un conmutador magnético, con el fin de realizar corte y reconexión.
5	El mecanismo MVE contará con un módulo de comunicaciones GPRS/GSM para permitir el envío y recepción de datos MVE entre el usuario y el OR.
6	El mecanismo desde el lado del OR contará con un servidor que permita albergar y gestionar la base de datos de consumo del MVE.
7	El mecanismo MVE se apoyará de un operador de red móvil celular que le permita al módulo de comunicaciones GPRS/GSM del mecanismo, trabajar sobre un canal de comunicación fijo para los usuarios del MVE.

Fuente: Propia

Considerando, los requerimientos técnicos, operativos, socioeconómicos, las condiciones técnicas de diseño de la adaptación a los medidores y la categorización de los diferentes tipos de medidores de energía eléctrica y sus técnicas de lectura de medición asociadas, en el desarrollo de la problemática de implementación del MVE, el presente trabajo de grado se propone a continuación, una clasificación y relación propia de los diferentes tipos de medidores utilizados en el mercado actual de estratos bajos, que permitan llevar a cabo la implementación del MVE en Colombia, e igualmente asociando la evolución de las técnicas de lectura de medición existentes, ver **Tabla 18**

Tabla 18. Relación de medidores versus técnicas de lectura de medición de energía.

TIPOS DE MEDIDORES DE ENERGÍA	TÉCNICAS DE LECTURA DE MEDICIÓN DE ENERGÍA			
	TRADICIONAL	AMR (Lectura de medición automática)		SMART METERING (Medición inteligente)
		AMR	AMR + PLUS	AMI
ELECTROMECAÑICOS	∅	∇	∇	□
ELECTRÓNICOS	∅	∇	∇	□
PREPAGO	□	∅	∇	∇
INTELIGENTES	□	∅	∅	∅

Fuente: Propia.

∅: Técnicas de lectura de medición y funcionalidades que actualmente aplica cada medidor de energía.

∇: Adaptaciones restantes para que los medidores apliquen funcionalidades, bien sea de telegestión o teledatada, y de este modo diseñar y evaluar la implementación del MVE en Colombia.

□: Técnicas de lectura de medición relevantes en el diseño y adaptación para aplicar un MVE.

Haciendo una lectura y análisis de la **Tabla 18**, se observa que los medidores de energía eléctrica, tanto electromecánicos como electrónicos aplican tecnologías de medición tradicional, más no aplican técnicas de medición o funcionalidades de telegestión o teledatada haciéndose imposible sin una adaptación, el garantizar la implementación del MVE. Por otro lado, los medidores de energía prepago no poseen una característica de conectividad a redes o de gestión de datos de consumo de manera remota, ya que su modo de operación es unidireccional, por lo que necesitaría una adaptación o módulo que les permita realizar comunicación bidireccional para el monitoreo y gestión de la información del consumo de flujo de potencia del MVE. Por último, se observan los medidores inteligentes, los cuales poseen y aplican todas las funcionalidades de las técnicas de lectura de medición inteligente, permitiendo telegestión y teledatada de los datos de consumo.

Dado lo anterior, se evidencia que para algunos medidores que emplean gestión bidireccional como los inteligentes, se facilita en su sistema la implementación del MVE. Sin embargo, para los que no utilizan adaptaciones de comunicación y gestión, como lo son: el electromecánico, el electrónico tradicional y el prepago, es necesario el diseño del potencial mecanismo que garantice la integración de los medidores con un módulo adaptativo del MVE en Colombia, por tal razón a continuación se abordan 3 diseños de las adaptaciones para los medidores.

A continuación, se exponen los 3 diseños de adaptación a medidores de los potenciales mecanismos de implementación del MVE en Colombia en estratos socioeconómicos 1 y 2, para los medidores de energía eléctrica: electromecánicos, electrónicos y prepago.

2.3.3.1 Adaptación para medidores electromecánicos

Ahora bien, para dar cumplimiento a los objetivos propuestos en el presente trabajo de grado, se expone el diseño de una adaptación para que los medidores electromecánicos garanticen e implementen el MVE en Colombia, destinados a estratos socio económicos bajos. Esta adaptación permite que el medidor pueda ser leído y gestionado por el usuario y de manera remota por el OR, facilitando los procesos de lectura, pago y facturación del servicio.

El diseño o principio de operación de esta adaptación sugiere, una integración entre las interfaces de potencia y de usuario, mediante una sola tarjeta controladora encargada de la lectura de entrada y salida de los datos, variables de consumo, alarmas, recargas y corte/reconexión del medidor electromecánico, ver **Figura 9**.

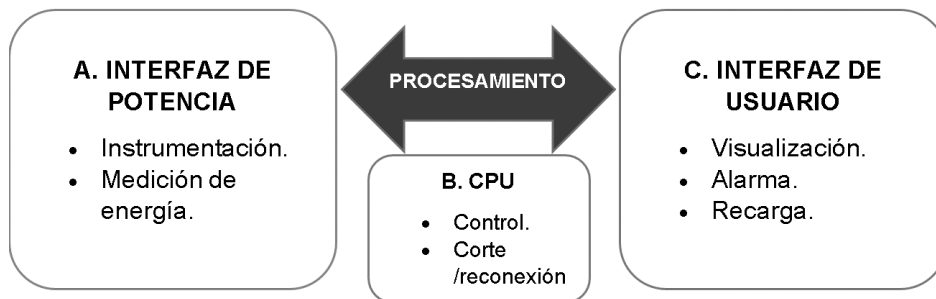


Figura 9. Diagrama de bloques de la adaptación I para el medidor electromecánico.

Fuente: Propia.

El diagrama correspondiente a la adaptación I, integra mediante una tarjeta controladora la lectura, el procesamiento y las acciones de las interfaces de potencia y de usuario. La interfaz de potencia destaca el uso de un sensor óptico serial, el cual es el encargado de convertir las revoluciones del disco del medidor electromecánico a pulsos legibles por la tarjeta controladora, con el fin de hacer una lectura (posteriormente en su equivalente en kWh) de la potencia consumida. Así mismo, cumple la función de corte/reconexión del suministro eléctrico, a partir de una señal que active o desactive un actuador (Relé). Por último, por medio de la interfaz de usuario se generan las recargas (Lector de Token), comunicación con el centro de gestión y alarmas (Modulo GPRS) para corte y reconexión del suministro eléctrico, ver **Figura 10**

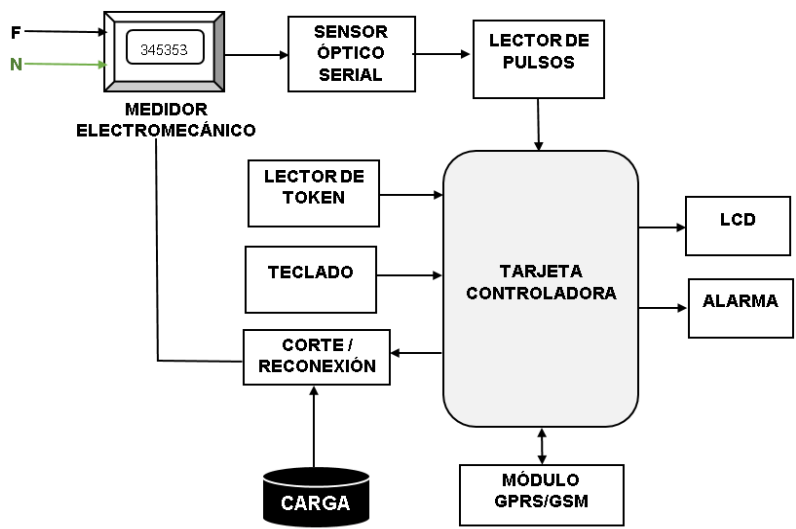


Figura 10. Interfaces para la adaptación I.

Fuente: Propia

2.3.3.2 Adaptación para medidores electrónicos

La adaptación propuesta a continuación, utiliza la misma filosofía de operación y diseño de referencia de la adaptación I en cuanto a la capacidad de ser leído y gestionado los medidores de energía eléctrica y además de observarse su diferenciación en la lectura de los pulsos y tecnologías de medición con respecto al adaptación I anterior.

Esta adaptación está orientada hacia los medidores electrónicos que contengan en su estructura una manera de obtener, por medio de una salida digital/analógica, el número de pulsos correspondientes al flujo de potencia consumido (omitiendo el uso de sondas de lectura de pulsos), ver **Figura 11**.

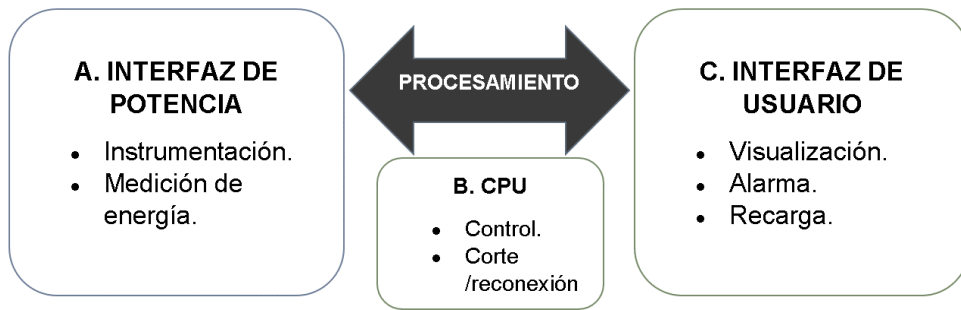


Figura 11. Diagrama de bloques de la adaptación II para el medidor electrónico.

Fuente: Propia

La *adaptación II*, hace referencia a la integración de las diferentes interfaces propuestas, mediante una tarjeta controladora, teniendo como particularidad la lectura directa de los pulsos generados por el medidor electrónico de manera digital en la interfaz de potencia. Por otro lado, Una vez calculado el consumo en la tarjeta, se transfieren los datos de consumo a la interfaz de usuario encargada de la visualización y demás aspectos. Obviamente como en la adaptación anterior, el uso de un módulo GPRS/GSM, se presenta dado que se requiere accionar alarmas y gestión del consumo no solo locales, sino también remotas, tanto al usuario como al OR que suministra el flujo de potencia, ver **Figura 12**.

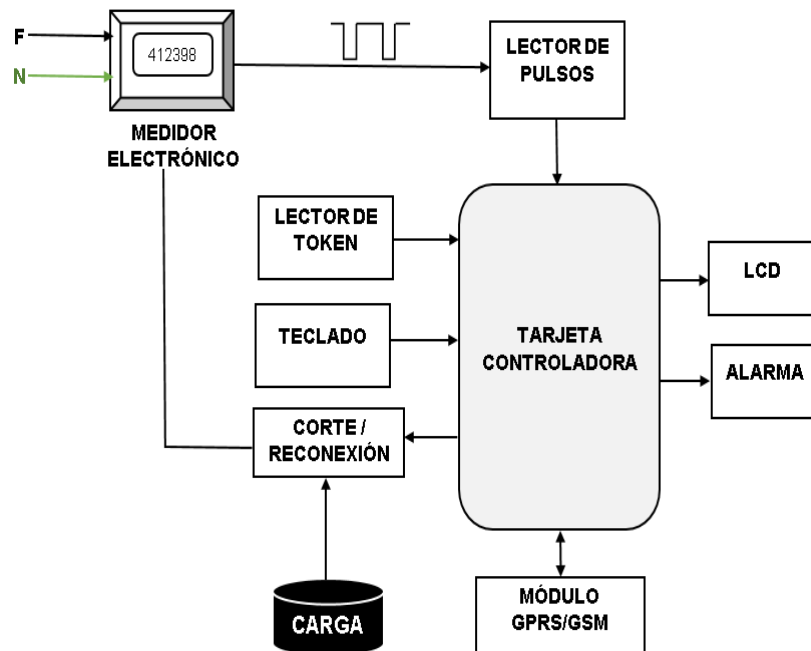


Figura 12. Interfaces para la adaptación II.

Fuente: Propia

2.3.3.3 Adaptación para medidores prepago

Este tipo de medidores ejecutan operaciones de la tecnología AMR, por lo que su sistema integra la mayoría de las funciones básicas de operación unidireccional. Por consiguiente, brinda la oportunidad de ejecutar las siguientes acciones:

- Corte y reconexión.
- Lectura del medidor.
- Facilidades de interacción con el usuario.

En el presente trabajo de grado se propone la adición de un dispositivo adaptativo (AMR + PLUS) disponible en el mercado industrial, el cual cumpla la tarea complementaria de almacenar los datos de consumo de múltiples medidores por zona residencial en un concentrador de información, para la posterior gestión de los datos enviados por el módulo GPRS al OR, posibilitando que el medidor prepago sumado a la adaptación en particular, realice comunicaciones bidireccionales, ver **Figura 13**.

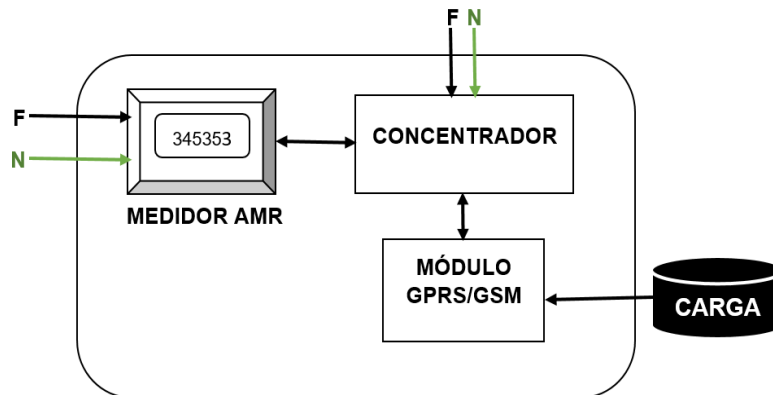


Figura 13. Adaptación para implementar el MVE en medidores AMR o Prepago.

Fuente: Propia

2.3.3.4 Procedimiento de implementación del MVE para estratos 1 y 2

Con el objetivo de desarrollar adecuadamente la etapa de mejora dada por la metodología propuesta, es necesario en el presente trabajo de grado proponer un procedimiento o una serie de pasos a seguir que garantice el correcto funcionamiento del sistema, bajo diferentes situaciones que avalen el cumplimiento o normativa del MVE. Los niveles de complejidad de este procedimiento dependen del alcance que deban cumplir, en tal sentido, en el presente trabajo de grado se establecen una serie de considerandos, con el propósito de acotar los alcances de dicho procedimiento, dándole cumplimiento así al requerimiento operativo 1: *El mecanismo debe funcionar sobre unos considerandos o "reglas de juego" que garanticen el suministro del MVE.*

Estos serán analizados y establecidos bajo las 2 modalidades de pago: prepago y postpago.

1. Se asume que existe una normativa MVE, en la cual el estado por medio de la CREG obliga al OR que garantice un *MVE mensual* a los estratos 1 y 2 en 2 modalidades de pago: prepago y postpago.
2. La normativa MVE debe determinar que, si el usuario antes de finalizar el mes ha consumido el MVE asignado, el usuario continúa con su flujo de potencia y el OR debe facturar el excedente consumido al iniciar el siguiente mes, en la modalidad de pago postpago.
3. Sí el usuario postpago no le cancela al OR el excedente de energía facturado, éste último tras finalizar el siguiente MVE está autorizado a retirarle el flujo de potencia al usuario moroso.
4. El MVE mensual no consumido en su totalidad, no será acumulable o sumado como excedente al MVE del siguiente mes¹.
5. Para ser otorgado inicialmente el MVE, el usuario no debe estar en mora con el OR, de lo contrario, el beneficiario debe realizar el pago de la deuda o acoplarse a un plan de financiamiento, siendo primordial el cumplimiento de este, puesto que perdería el MVE de fallar en los pagos pactados. Si el usuario es prepago, deberá recargar mensualmente el valor de la cuota pactada y si, por el contrario, es postpago, deberá realizar el pago de la factura mensual con el monto establecido.
6. Cuando el usuario genere una recarga y ésta se termine antes de culminar el mes en curso, las funciones de la adaptación, tales como alarmas de consumo, cortes, mensajes y demás, continúan en operación normalmente, hasta empezar el MVE del siguiente mes.
7. Una vez los anteriores considerandos han sido establecidos, la implementación del MVE debe analizar cierta lógica manifestada en un procedimiento, el cual está sujeto a diferentes funcionalidades, es decir, permitirle al usuario que cuente o no con flujo de potencia durante un número N de días después de haber finalizado el MVE; debido a la complejidad que conlleva para el usuario y para el OR, desarrollar modalidades de pago y funcionamiento con N días, el presente trabajo de grado propone un esquema en el cual las adaptaciones a los medidores y los mecanismos estarán diseñados y desarrollados para simular y validar un sistema de pago **sin N días**; sin embargo, se describirán ambos procedimientos con sus respectivas modalidades de pago, con el fin de dimensionar la complejidad de cada uno de ellos.

Los considerandos anteriores aportan al cumplimiento del requerimiento operativo 1, dado que proporcionan límites en el alcance en los 2 procedimientos propuestos a utilizar en la implementación del MVE, estos a su vez generan un campo más amplio al OR y a los entes regulatorios. A pesar de ser seleccionada la modalidad de pago prepago es importante realizar el estudio comparativo de los procedimientos desde las

¹ La CREG debe tener en cuenta que, si la vivienda no se encuentra habitada, el OR no debe generar el cobro por el MVE al estado.

2 modalidades o sistemas de pago actualmente vigentes en servicios públicos en el país: prepago y postpago, además, los procedimientos serán analizados con el uso de los N días y sin el uso de los N días posteriores a la finalización del MVE.

- **Procedimiento modo prepago del MVE – Sin N días**

El procedimiento y programación en modo prepago sin N días en las diferentes adaptaciones garantantes del MVE, es el siguiente:

- A. El OR debe garantizar que todo medidor suministrado a estratos 1 y 2, ya sea de fábrica o en el laboratorio de calibración:
 - A.1. Sea adecuado con alguna de las adaptaciones propuestas del MVE del presente trabajo de grado.
 - A.2. Posteriormente cada medidor “adecuado”, acorde a la adaptación, se le debe hacer una configuración de los parámetros del MVE.
- B. Una vez los medidores son instalados, automáticamente comienzan a suministrar el flujo de potencia del MVE.
- C. El usuario podrá, por medio de las interfaces de usuario del medidor y/o mecanismo, testear su consumo e igualmente realimentarse a través de una serie de alarmas locales (a. Mensaje en LCD del medidor adecuado, b. alarma sonora de la adaptación) y remotas (c. Alarma por mensaje de texto), facilitando así, dicha acción y mantenerse alerta con respecto a su consumo y cercanía al umbral del MVE suministrado.
- D. Se proporcionará un aviso o alarma de K días ligados al consumo del usuario, antes de que se haya llegado al umbral MVE (Predeterminados por el estado y el OR), proporcionando al usuario el tiempo adecuado para realizar una recarga adicional.
 - D.1. Sí, el usuario **no recarga** por medio de una tarjeta prepago o por internet, el OR está autorizado para realizar el corte del servicio. Finalizado ese mes, el OR realiza la reconexión del medidor para suministrar de nuevo el siguiente MVE.
 - D.2. Sí, el usuario **recarga** dentro de los K días en los cuales se generan las alarmas de terminación del consumo del MVE, el medidor continúa operando normalmente y solo cortará el servicio hasta que el valor de dicha recarga culmine.
 - D.2.1. En caso de que se consuma el valor recargado antes de completar el mes, el medidor vuelve a generar alarmas, con el fin de que el usuario recargue, en caso de que este no se genere, el OR procede a cortar el suministro eléctrico. Posteriormente, completado el mes, el OR realiza la reconexión del medidor para suministrar de nuevo el MVE
 - D.3. Sí, el usuario **recarga** dentro de los K días en los que se generó las alarmas de terminación del MVE y además el valor recargado es suficiente para cubrir los días restantes para completar el mes, no se genera ningún corte.
 - D.4. Sí, el usuario **recarga** dentro de los K días en los que se generaron las alarmas de terminación del MVE y además el valor recargado es tal que,

superado el mes, todavía existe un excedente, dicho valor adicional se suma al MVE generado en el nuevo mes al medidor.

- **Procedimiento modo postpago del MVE – Sin N días**

A continuación, se describe el procedimiento a llevar a cabo en la implementación de las adaptaciones que garanticen el MVE en el modo postpago sin N días:

- A. El OR debe garantizar que todo medidor suministrado a estratos 1 y 2, ya sea de fábrica o en el laboratorio de calibración:
 - A.1. Sea adecuado con las adaptaciones del MVE del presente trabajo de grado.
 - A.2. Posteriormente cada medidor “adecuado”, acorde a la adaptación, se le debe hacer una configuración de los parámetros del MVE.
- B. Una vez los medidores son instalados, automáticamente comienzan a suministrar el flujo de potencia del MVE.
- C. El usuario podrá, por medio de las interfaces de usuario del medidor y/o mecanismo, testear su consumo e igualmente realimentarse a través de una serie de alarmas locales (a. Mensaje en LCD del medidor adecuado, b. alarma sonora de la adaptación) y remotas (c. Alarma por mensaje de texto), facilitando así, dicha acción y mantenerse alerta con respecto a su consumo y cercanía al umbral del MVE suministrado.
- D. Al igual que el modo prepago, el presente modo no realiza la espera para cortar el flujo de potencia; sin embargo, sigue alertando al usuario de que el MVE está a punto de terminarse y empezará a facturar el consumo hasta que culmine el mes.
 - D.1. El MVE es puesto en marcha de nuevo y se alerta al usuario que tiene M días para realizar el pago del valor facturado del mes anterior, de no realizar dicho pago, el OR está en todo su derecho de cortar el flujo de potencia.
 - D.2. Sí, una vez suspendido el flujo de potencia, el usuario sigue apareciendo como deudor moroso, no se reconectará el flujo de potencia y por consiguiente, el MVE del siguiente mes no será activado.

- **Procedimiento MVE modo prepago – Con N días**

El procedimiento y programación en modo prepago con N días en las diferentes adaptaciones garantes del MVE, es la siguiente:

- A. El OR debe garantizar que todo medidor suministrado a estratos 1 y 2, ya sea de fábrica o en el laboratorio de calibración:
 - A.1. Sea adecuado con las adaptaciones propuestas del MVE del presente trabajo de grado.
 - A.2. Posteriormente cada medidor “adecuado”, acorde a la adaptación, se le debe hacer una configuración de los parámetros del MVE.
- B. Una vez los medidores son instalados, automáticamente comienzan a suministrar el flujo de potencia del MVE.

- C. El usuario podrá, por medio de las interfaces de usuario del medidor y/o mecanismo, testear su consumo e igualmente realimentarse a través de una serie de alarmas locales (a. Mensaje en LCD del medidor adecuado, b. alarma sonora de la adaptación) y remotas (c. Alarma por mensaje de texto), facilitando así, dicha acción y mantenerse alerta con respecto a su consumo y cercanía al umbral del MVE suministrado.
- D. Se espera un número N de días después de que se haya consumido el MVE antes de realizar un corte:
 - D.1. Sí, el usuario **no recarga** por medio de una tarjeta prepago o por internet, el OR está autorizado para realizar el corte del servicio.
 - D.1.1. Completado ese mes, el OR realiza la reconexión del medidor para suministrar de nuevo el siguiente MVE, descontando: el valor consumido de los N días esperados tras finalizar el anterior MVE.
 - D.1.2. En caso de que el usuario no genere la recarga y se limite solo a utilizar su MVE mensual y eventualmente este valor llegue a cero por los descuentos periódicos, indica que la vivienda de dicho usuario estaría sin flujo de potencia el siguiente mes.
 - D.2. Sí, el usuario **recarga** el mismo día que se generó la última alarma de terminación del consumo del MVE, el medidor continúa operando normalmente y solo cortará el servicio hasta que el valor de dicha recarga culmine.
 - D.2.1. En caso de que el consumo sobre el valor recargado termine antes de completar el mes, el medidor vuelve a generar alarmas, con el fin de que el usuario recargue, de no generarse el pago, el OR procede a cortar el flujo de potencia.
 - D.2.1.1. Completado el mes, el OR realiza la reconexión del medidor para suministrar de nuevo el MVE, descontando: el valor consumido del MVE anterior.
 - D.2.1.2. En caso de que el usuario, no genere la recarga y se limite solo a utilizar su MVE mensual y a su vez, este valor nominal llegue a cero, indica que la vivienda de dicho usuario estaría parcialmente sin flujo de potencia la mayor parte del mes dependiendo de su consumo.
 - D.3. Sí, el usuario **recarga** el mismo día que se generó la última alarma de terminación del consumo gratuito y además el valor recargado es suficiente para cubrir los días restantes para completar el mes, no se genera ningún corte ni cobro adicional sobre la próxima recarga o sobre el MVE del mes siguiente.
 - D.4. Sí, el usuario **recarga** el mismo día que se generó la última alarma de terminación del consumo gratuito y además el valor recargado es tal que, superado el mes, todavía existe un excedente, dicho valor adicional se suma al MVE generado en el nuevo mes al medidor.

- **Procedimiento MVE modo postpago – Con N días**

El siguiente procedimiento describe el desarrollo en la implementación de las adaptaciones que garanticen el MVE en el modo postpago con N días:

- A.** El OR debe garantizar que todo medidor suministrado a estratos 1 y 2, ya sea de fábrica o en el laboratorio de calibración:
 - A.1.** Sea adecuado las adaptaciones propuestas del MVE del presente trabajo de grado.
 - A.2.** Posteriormente cada medidor “adecuado”, acorde a la adaptación, se le debe hacer una configuración de los parámetros del MVE.
- B.** Una vez los medidores son instalados, automáticamente comienzan a suministrar el flujo de potencia del MVE.
- C.** A medida que se va consumiendo la energía, el usuario por medio de las interfaces de usuario del medidor y/o mecanismo, puede testear su consumo e igualmente realimentarse por una serie de alarmas locales (a. Mensaje en LCD del medidor adecuado, b. alarma sonora del mecanismo) y remotas (c. Alarma por mensaje de texto) para facilitar dicha acción y mantenerse alerta con respecto a su consumo, y cercanía al umbral del MVE suministrado.
- D.** El presente modo realiza la espera de N días para cortar el flujo de potencia; sigue alertando al usuario de que el MVE está a punto de terminarse y que empezará a facturar el consumo hasta que culmine el mes.
 - D.1.** EL MVE es puesto en marcha de nuevo, y se alerta al usuario que tiene M días para realizar el pago del valor facturado, de no realizar dicho pago, el OR está autorizado a cortar el flujo de potencia después de haber esperado los N días establecidos.
 - D.2.** Sí, una vez suspendido el flujo de potencia, el usuario sigue apareciendo como deudor moroso, no se reconectará la energía y por consiguiente, el MVE del siguiente mes no será activado.

Como se observa en los 2 procedimientos planteados anteriormente tanto para la modalidad de pago prepago como postpago, la complejidad de estos se incrementa a raíz de la existencia de los N días posteriores a la finalización del MVE en una vivienda, dado que, el OR deberá realizar seguimiento y generar un cobro a los usuarios por el valor consumido de flujo de potencia durante ese tiempo adicional, generando posibles variantes, tales como:

- Si, el usuario es postpago y no cuenta con los recursos económicos necesarios para cancelar dicho monto, el nivel de complicación aumentará, dado que, se deberá optar por facilidades de pago dadas por el OR y de no realizarse los pagos este perdería el privilegio del MVE.
- Para cancelar el valor facturado, el usuario prepago deberá realizar una recarga y si esta no se efectúa, el OR podría:
 - ✓ Descontar el consumo de flujo de potencia adicional, del MVE del mes siguiente ocasionando que el usuario empiece a disminuir el MVE de los siguientes meses hasta llegar al punto de que el MVE de un mes sea cero.

- ✓ Dar facilidades de pago al usuario y retirar el MVE hasta no estar en mora con este.
- Si el usuario no desea que se le otorguen esos N días, el OR podría:
 - ✓ Dar la opción de retirar los N días dependiendo de si el usuario lo desea.
 - ✓ Obligar al usuario a aceptarlos acatando la normativa que esté rigiendo en el momento, ocasionando tutelas por parte de los usuarios inconformes.

Además, el OR tendría que realizar modificaciones en la plataforma, incrementando la complejidad en el desarrollo de la base de datos para albergar la información de dichos usuarios, también es necesario aumentar la programación del módulo planteado y la infraestructura de la red, elevando los costos y generando posibles pérdidas económicas para la empresa prestadora del servicio eléctrico.

2.3.3.5 Selección y análisis de procedimientos sin N días

Los procedimientos sin N días en las 2 modalidades de pago, tienen sus particularidades. Sin embargo, se desarrolla el procedimiento para la modalidad prepago ya que es la que mejor se adaptada a la implementación del MVE, tal y como se observó en la evaluación de los criterios de las distintas modalidades. Por tal razón, de acuerdo al funcionamiento de las adaptaciones propuestas para el MVE y las decisiones que debe tomar un OR a la hora de la implementación en un posible mecanismo que garantice el MVE en Colombia, se presenta el diagrama de flujo del modo prepago sin N días, con el fin de analizar los diferentes caminos que se pueden tomar en dicha implementación, teniendo en cuenta el requerimiento operativo 1, descrito en el presente trabajo de grado, ver **Figura 14**:

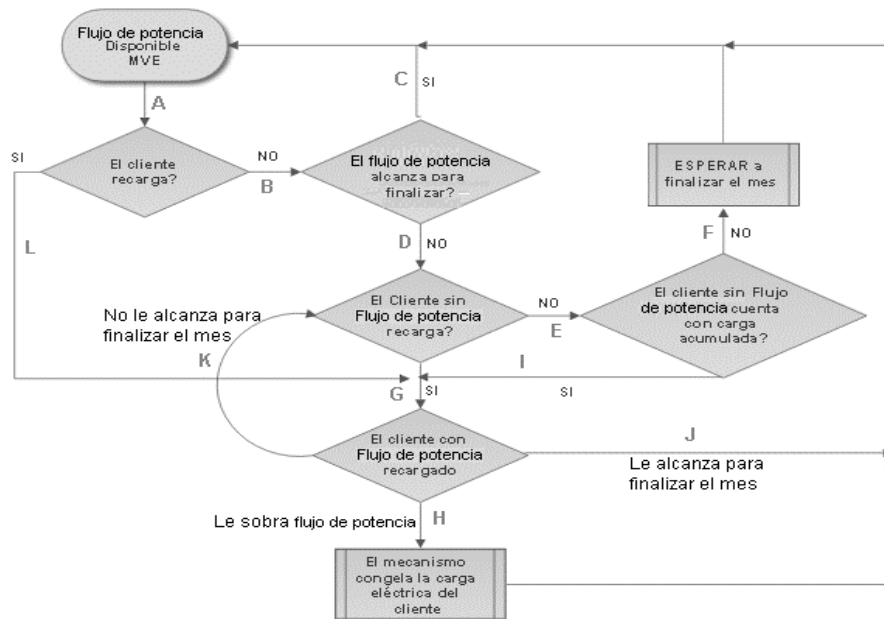


Figura 14. Diagrama de flujo procedimiento MVE prepago sin N días.
Fuente: Propia

En el diagrama de flujo de la **Figura 14**, se identifican diferentes caminos. Al empezar cada mes se cargan 130 KWh del MVE, por lo cual al inicio de cada situación siempre hay flujo de potencia (para efectos de practicidad los caminos de cada uno de los enlaces de decisión son representados por una letra de la “A” a la “L”), ver

Tabla 19.

Tabla 19. Caminos identificados en el diagrama de flujo de la figura 20.

Nº	CAMINOS → A - L		
1.	A - B - C	8.2.	E - I - G - J
2.	A - B - D - E - F	8.3.	E - I - G - H
3.	A - B - D - E - I - G - J	8.4.	E - I - G - K (bucle)
4.	A - B - D - E - I - G - H	8.5.	G - J
5.	A - B - D - E - I - G - K	8.6.	G - H
5.1.	E - F	8.7.	G - K (bucle)
5.2.	E - I - G - J	9.	A - L - G - J
5.3.	E - I - G - H	10.	A - L - G - H
5.4.	E - I - G - K (bucle)	11.	A - L - G - K
5.5.	G - J	11.1.	E - F
5.6.	G - H	11.2.	E - I - G - J
5.7.	G - K (bucle)	11.3.	E - I - G - H
6.	A - B - D - G - J	11.4.	E - I - G - K (bucle)
7.	A - B - D - G - H	11.5.	G - J
8.	A - B - D - G - K	11.6.	G - H
8.1.	E - F	11.7.	G - K (bucle)

Fuente: propia.

Teniendo en cuenta los caminos y las decisiones que implican, se eligieron 4 de las opciones presentadas anteriormente (8.1, 6, 10 y 2), las cuales permiten de una manera más práctica y transparente representar la implementación del MVE, ya que ejemplifican y tienen a consideración las acciones más relevantes del usuario con la adaptación a los medidores, permitiendo desarrollar un mejor análisis de simulación. Cabe aclarar que se genera un *bucle* de variantes dependiendo del día y la hora en que el usuario realice una o más recargas o en las que el servicio se encuentre en corte, por lo que las situaciones u opciones escogidas generalizan las acciones y procesos llevados a cabo en una posterior simulación de un mecanismo en donde el usuario interacciona con la adaptación propuesta. A continuación, se describen las 4 situaciones escogidas para ser simuladas y analizadas con respecto a la implementación del MVE propuesto en el presente trabajo de grado:

1. El usuario realiza una recarga después del corte del flujo de potencia, por un valor que no cubre lo que consumirá el resto del mes.
2. Se lleva a cabo el corte del flujo de potencia y el usuario recarga un valor que cubre lo que resta del mes.
3. El usuario realiza una recarga antes del flujo de potencia, por un valor que alcanza a cubrir lo que resta del mes y le sobra.
4. El usuario no realiza ninguna recarga ni antes ni después del corte del flujo de potencia.

2.3.3.6 Mecanismos MVE para las adaptaciones diseñadas

Una vez establecidas las 3 adaptaciones y los procedimientos en los 2 principales modos o sistemas de pago a utilizar para el MVE, se proponen 2 mecanismos² para la ejecución del mismo. El mecanismo I, consiste en describir la implementación del MVE a partir de las adaptaciones I y II propuestas en el presente trabajo de grado, por otra parte, el mecanismo II describe el desarrollo e implementación de un modo de pago a partir de una tecnología complementaria a los sistemas prepago que actualmente poseen los OR.

A. Mecanismo I:

Este mecanismo es diseñado para llevar a cabo la implementación del MVE, a partir del empleo de medidores electromecánicos y electrónicos y del uso de las adaptaciones I y II (previamente descritas), ver **Figura 15**.

²En el presente trabajo se entiende por “*Mecanismo de implementación o mecanismo de ejecución*”, a la interconexión de las adaptaciones implementadas con las plataformas de telegestión del OR más una serie de servicios ofrecidos a los usuarios, con el fin de que se pueda llevar a cabo el servicio de MVE.

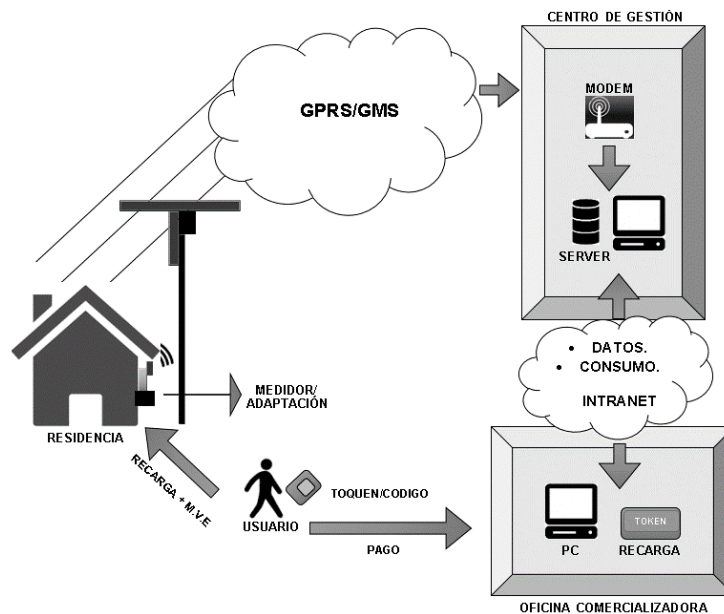


Figura 15. Mecanismo I para las adaptaciones I y II.

Fuente: Propia

La **Figura 15**, describe la implementación del MVE para las adaptaciones I y II, por lo cual, se desarrollarán a continuación una serie de literales, los cuales indican la manera en que se ejecutará la implementación del mecanismo en cuestión:

1. Las adaptaciones a los medidores están sujetas a uso residencial básico.
2. Las adaptaciones cuentan con un sistema de adaptación a los diferentes medidores de energía eléctrica, permitiendo un monitoreo continuo del consumo.
3. El usuario puede recargar las veces que él crea conveniente, independientemente del estado en que se encuentre el consumo de su residencia.
4. La recarga se puede realizar de manera local o remota.
 - ✓ **Local:** El usuario debe dirigirse a una oficina comercializadora o tienda acreditada por el OR, en donde se cargue el valor solicitado, correspondiente a un número de KWh (supeditados al valor vigente en pesos colombianos del KWh). Luego, el usuario debe pasar la tarjeta o token recargado por el mecanismo y para que de esta manera se haga efectivo el nuevo saldo a favor.
 - ✓ **Remota:** El usuario puede entrar al sitio Web del OR y realizar la consulta y recarga del flujo de potencia, dadas las características de comunicaciones inalámbricas que poseen las adaptaciones propuestas en el presente trabajo de grado.

5. El OR posee un canal de comunicaciones con las oficinas comercializadoras o tiendas acreditadas, por el cual, se visualizan y consultan las bases de datos de consumo por usuario, permitiendo de igual manera, registrar las recargas “locales” en el sistema.

B. Mecanismo II:

A continuación, se muestra el mecanismo de implementación a tener en cuenta en zonas residenciales que utilicen medidores que empleen sistemas de pago prepago de forma predeterminada (AMR), ver **Figura 16**.

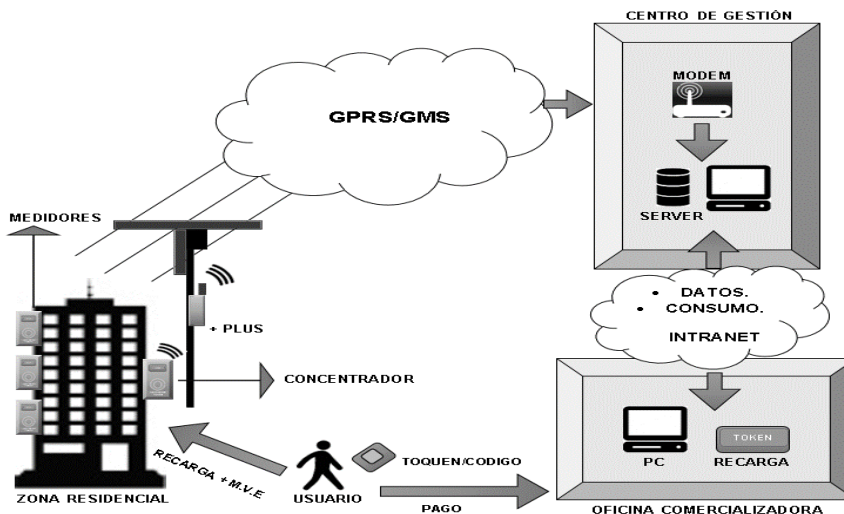


Figura 16. Mecanismo II para la adaptación a los medidores prepago.

Fuente: Propia

En la **Figura 16**, se observa la implementación del MVE para el mecanismo que ejecuta la tecnología prepago o AMR, en donde se utilizan concentradores de información y un módulo de comunicaciones remoto. A continuación, se describen los literales a tener en cuenta en el presente mecanismo:

1. El sistema AMR está sujeto a usos residenciales múltiples, tales como: conjuntos cerrados, edificios, entre otros.
2. El sistema AMR cuenta con concentradores, en los cuales se almacena la información de todos los hogares que hacen parte de las zonas residenciales anteriormente descritas.
3. El sistema AMR cuenta con una adaptación de un módulo de comunicaciones (AMR PLUS), el cual permite el monitoreo y administración de la información y datos almacenados en el concentrador.
4. La recarga se puede realizar de manera local o remota.
 - a. **Local:** El usuario debe dirigirse a una oficina comercializadora o tienda acreditada por el OR, en donde se cargue el valor solicitado, correspondiente a un número de KWh (supeditados al valor vigente en

pesos colombianos del KWh). Luego, el usuario debe pasar la tarjeta o token recargado por el mecanismo y para que de esta manera se haga efectivo el nuevo saldo a favor.

- b. **Remota:** El usuario puede entrar al sitio Web del OR y realizar la consulta y recarga del flujo de potencia, dadas las características de comunicaciones inalámbricas que poseen las adaptaciones propuestas en el presente trabajo de grado.
5. El OR posee un canal de comunicaciones con las oficinas comercializadoras o tiendas acreditadas, por el cual, se visualizan y consultan las bases de datos de consumo por usuario, permitiendo de igual manera, registrar las recargas “locales” en el sistema.

2.3.3.7 Modelado UML de los mecanismos:

Los diagramas de casos de uso de los mecanismos anteriormente descritos, se desarrollan en el sistema de modelado UML, el cual facilita el entendimiento de las diversas funcionalidades de los mecanismos propuestos y el papel que desarrollan los actores que intervienen en cada uno de los procedimientos en la implementación del MVE en Colombia.

I. Diagramas de casos de uso para el mecanismo I

A continuación, se observa el diagrama de caso de uso correspondiente al mecanismo I, ver **Figura 17**.

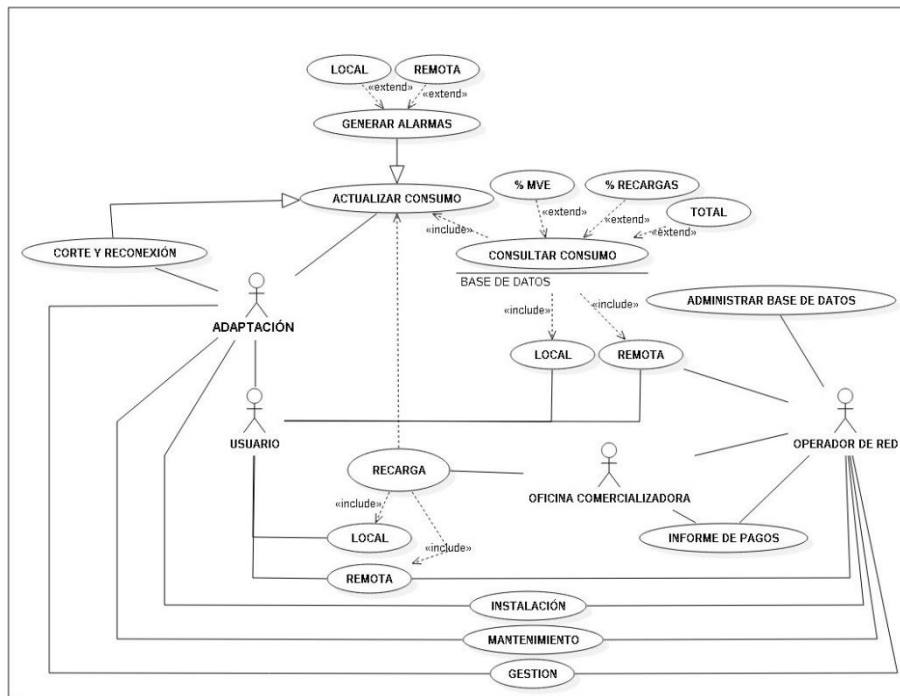


Figura 17. Diagrama de caso de uso para el mecanismo I.
Fuente: Propia

En la **Tabla 20**, se encuentran descritas las características de interacción que tiene cada actor con el sistema planteado en el diagrama de caso de uso para el mecanismo I.

Tabla 20. Descripción de los actores del diagrama de caso de uso para el mecanismo I.

ACTORES	DESCRIPCIÓN
Adaptación	Dispositivo propuesto en el presente trabajo de grado, el cual permite gestionar el MVE en los medidores actuales.
Usuario	Es la persona que posee la adaptación a medidores del MVE e interactúa con sus funcionalidades (recarga local y remota, consultas, alarmas, entre otras...)
OR	Entidad encargada de la distribución y comercialización de energía eléctrica.
Oficina comercializadora	Microempresa o tienda acreditada por el OR que ofrece el servicio de recarga “Local”.

Fuente: Propia

En la **Tabla 21**, se observan las respectivas descripciones de las acciones llevadas a cabo en los diagramas de casos de uso, correspondientes a los mecanismos I y II.

Tabla 21. Descripción de las acciones del diagrama de caso de uso para el mecanismo I.

ACCIONES	DESCRIPCIÓN
Consultar consumo	Alberga la base de datos correspondiente al consumo de cada usuario del MVE.
% MVE	Visualización del porcentaje consumido del MVE.
% Recargas	Visualización del porcentaje consumido de las recargas realizadas.
Total	Visualización del consumo total en el mes (KWh)
Actualizar consumo	Sincronización de los datos de consumo entre el mecanismo y la base de datos.
Generar alarmas	Alarma que se acciona al generar una recarga o advertencia de corte del servicio.
Recarga	Acción de generar una recarga sobre el mecanismo del MVE.
Corte y reconexión	Acción ejecutada por la adaptación, a partir de los datos de consumo albergados en la base de datos.
Local	Consulta o recarga realizada sobre la adaptación.
Remota	Consulta o recarga realizada desde una interfaz remota a la adaptación.

Fuente: Propia

II. Diagramas de casos de uso para el mecanismo II

Se presenta el diagrama de casos de uso correspondiente al mecanismo II, siendo el concentrador de información el agente diferenciador, ver **Figura 18**.

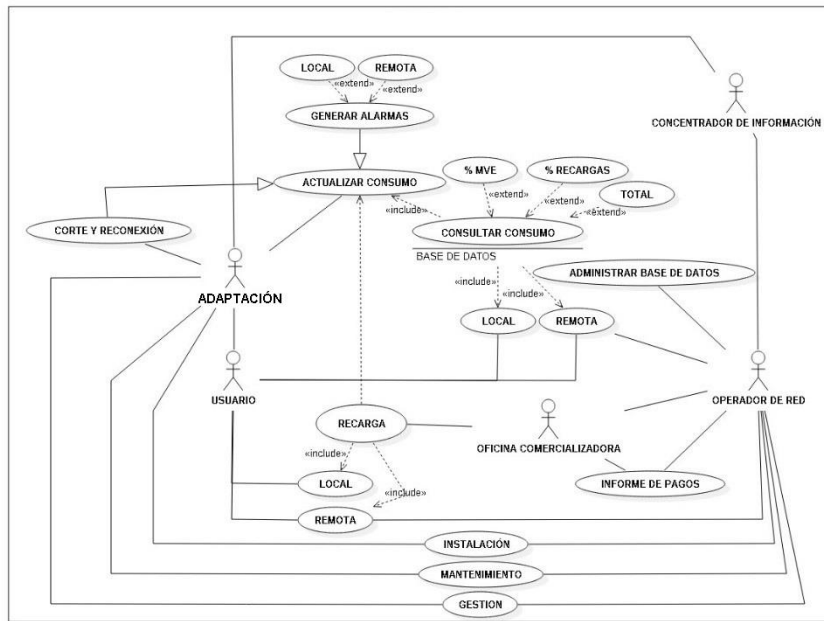


Figura 18. Diagrama de caos de uso para el mecanismo II.
Fuente: Propia

Por último, se presenta a continuación, ver **Tabla 22**, los diferentes actores que interactúan en el caso de uso del mecanismo II:

Tabla 22. Descripción de los actores del diagrama de caso de uso para el mecanismo II.

ACTORES	DESCRIPCIÓN
Adaptación	Dispositivo propuesto en el presente trabajo de grado, el cual permite gestionar el MVE en los medidores actuales.
Usuario	Es la persona que posee la adaptación del MVE e interactúa con sus funcionalidades (Recarga local y remota, consultas, alarmas, entre otras...)
OR	Entidad encargada de la distribución y comercialización de energía eléctrica.
Oficina comercializadora	Microempresa o tienda acreditada por el OR, que ofrece el servicio de recarga "Local".
Concentrador de información	Almacena los datos conjuntos de diferentes medidores en un área o zona residencial compartida.

Fuente: Propia.

2.3.3.8 Comparación de los criterios de selección del potencial mecanismo para la implementación del MVE

Habiendo ilustrado y descritos los 2 diseños de los potenciales mecanismos técnicos de implementación del MVE, para los medidores de energía eléctrica es necesario tener en cuenta el desarrollo de los criterios previamente establecidos en la sección 2.1.

Primero, en miras de seleccionar el mecanismo que garantice el cubrimiento del MVE en el porcentaje más alto de la población de los estratos 1 y 2, del OR CEO (Compañía Energética de Occidente) se sabe que el actual parque de medidores instalados en el departamento del Cauca escogido como caso de estudio, es el siguiente:

- El 20% de medidores electromecánicos.
- El 70% de medidores electrónicos.
- El 10% de medidores prepago y AMI.

Segundo, la lectura de medición del flujo de potencia más confiable actualmente es la digital, dado que brinda una mayor precisión en la lectura de los datos de consumo del MVE. Las lecturas de medición del flujo de potencia están presentes en los medidores, tal y como se observa a continuación:

- Medidores electromecánicos: Análoga.
- Medidores electrónicos: Digital.
- Medidores prepago y AMI: Digital.

Tercero, en el caso de la adaptación a los medidores electromecánicos, se encuentra que la única diferencia con la adaptación e implementación para los medidores electrónicos, se limita a la forma en que es realizada la lectura del flujo de potencia consumido, por lo se espera que del sistema en cuestión, este por debajo del precio de los medidores actualmente utilizados, Así mismo, cabe resaltar que el costo de implementación del módulo “Plus” e infraestructura para la adaptación para los medidores prepago, es verdaderamente costosa en relación a un posible despliegue inmediato de la instalación de este tipo de tecnología por parte del OR, dado que implica la masificación de los medidores prepago sumada a su adaptación MVE. Es por esto, que se proponen los posibles elementos o materiales genéricos que permitirían llevar a cabo la elaboración de la adaptación II, la cual representa el punto medio entre sus similares:

- Tarjeta controladora
- El módulo GSM/GPRS
- Display
- Lector de NFC
- Relay de corte y reconexión.

- Teclado matricial
- Speaker

Estos elementos permiten llevar a cabo la elaboración de la adaptación I y particularmente de la adaptación II, por lo que es necesario considerar un panorama de costos. Dado lo anterior, se realizaron cotizaciones para el desarrollo de un prototipo y su respectiva masificación para los medidores electrónicos; la elaboración del prototipo de laboratorio tendría un valor cercano a los \$103.000 pesos COP, mientras que el costo del mecanismo I comercial sería aproximadamente de \$ 65.000 pesos COP, para mayor detalle ver *ANEXO E PANORAMA DE COSTOS DE UN PROTOTIPO DE LABORATORIO MVE*. Por otro lado, implementar el mecanismo II implica considerar un sistema AMI, que junto al medidor y su infraestructura asociada tiene un valor cercano entre \$ 600.000 y 800.000 por usuario, dependiendo de la densidad poblacional de la zona en la que se implemente.

Finalmente, la vida útil del sistema o adaptaciones que permiten a los mecanismos MVE, poder conectarse con los medidores de flujo de potencia, se estima que es de aproximadamente 10 a 15 años, con el fin de pasar de una tecnología de transición a una tecnología de medición completamente inteligente.

Dado lo anterior, se realiza una evaluación de los mecanismos diseñados, a partir de los criterios 4 criterios desarrollados, con el respectivo nivel de ponderación, es decir, en el caso de que los mecanismos no cumplan el criterio les corresponderá un valor nulo y por el caso contrario, si este cumple correctamente con el criterio se le asigna el valor porcentual establecido, ver

Tabla 23 Cumplimiento de criterios de los 2 mecanismos evaluados.

MECANISMOS	C1	C2	C3	C4	Total
Mecanismo 1	20%	30%	40,3%	9,7%	100%
Mecanismo 2	0%	30%	0%	9,7%	39,7%

Fuente: Propia.

Con base en el ponderado del mayor porcentaje de los criterios contenidos por los mecanismos diseñados, es seleccionado el mecanismo I y la adaptación II (teniendo en cuenta el porcentaje del parque de medidores instalados, implicando priorizar su uso y su respectiva adaptación). Finalmente, la cuarta etapa del procedimiento de diseño del mecanismo: *Diseño esquemático*, se desarrolla en el marco del **CAPITULO 3**, con el fin de caracterizar a los usuarios del MVE bajo el funcionamiento del mecanismo seleccionado y el planteamiento de un algoritmo con respecto a un entorno de simulación.

CAPITULO 3

EVALUACIÓN DE MECANISMOS

Este capítulo busca, valorar por medio de la cuarta etapa del procedimiento de diseño definido un entorno de simulación haciendo uso de la plataforma *Matlab R2014a*, con el fin de simular, evaluar y analizar las 4 situaciones seleccionadas en la *sección 2.3.3.5*, que se pueden presentar más comúnmente en el mecanismo I anteriormente seleccionado bajo unas condiciones predeterminadas sin N días, aplicadas sobre la adaptación II para de esta manera brindar un concepto sobre la implementación del MVE en Colombia a partir de un procedimiento de diseño. Por otro lado, se establece la lógica de programación orientada a simular el mecanismo y la adaptación escogidos, tomando en cuenta las particularidades de los usuarios del MVE y los datos de consumo energético de los hogares de estratos socioeconómicos bajos a nivel nacional.

En las simulaciones se propone un monitoreo del consumo del fluido eléctrico con resoluciones de lectura de un día y una hora, a diferencia de la mensual manejada actualmente en el sistema de tarificación eléctrico colombiano. Adicionalmente, se comparan las 2 resoluciones: hora y día, a través de simulación para validar así, que las condiciones de diseño y desarrollo del mecanismo, sean las adecuadas, para finalmente evaluar los alcances del entorno de simulación propuesto con respecto a los requerimientos técnicos, operativos y socioeconómicos propuestos en el **CAPITULO 2**.

3.1 Características de los usuarios

Para valorar el mecanismo I mediante simulación, evaluación y análisis apropiado con las 4 situaciones planteadas en la *sección 2.3.3.5*, es necesario fijar una serie de características para los usuarios MVE.

1. Las viviendas estarán conformadas por 4 o 5 integrantes, estos serán de estratos socioeconómicos 1 y 2.
2. Idealmente deberán consumir un MVE establecido en el capítulo 1 en 130 KWh por mes.
3. El consumo energético de los usuarios estará dado por cargas eléctricas como: nevera, plancha, lavadora, licuadora, entre otros. Ver **Tabla 4**

4. Los usuarios seguirán el mismo comportamiento del consumo nacional.

Con respecto a la característica 4, la **Figura 19** presenta el porcentaje de participación energética de cada hora del día en relación a 4 años diferente en Colombia; tras el adecuado análisis de los valores porcentuales del año 2012, se caracterizan y ajustan los datos de consumo que muestran semanalmente los usuarios a nivel nacional. Por otra parte, la **Figura 20** exhibe la demanda energética colombiana en una semana del mes de febrero del año 2007, la cual provee información sobre el comportamiento del consumo del flujo de potencia durante ese año en el país. Las gráficas enseñan un mismo comportamiento del consumo diario y mensual a nivel nacional, probablemente estos valores varían con respecto a los diferentes estratos socioeconómicos, pero dado que no se cuenta con información específica de cada uno de estos, las curvas presentadas se extenderán y aplicaran para los estratos 1 y 2 planteados anteriormente como caso de estudio.

Retomando la característica 2, dentro de la normativa colombiana se establece que, el consumo mínimo para suplir las necesidades básicas de energía eléctrica en cuanto al flujo de potencia en un hogar promedio es de 130 KWh, para alturas iguales o superiores a 1000 metros sobre el nivel del mar, es por esto que se establece este valor como MVE dentro de la simulación a realizar.

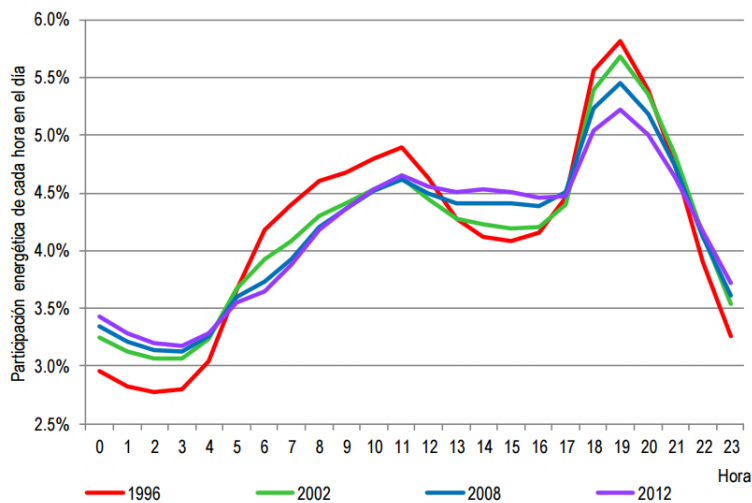


Figura 19. Porcentaje de participación energética.

Fuente: [82]

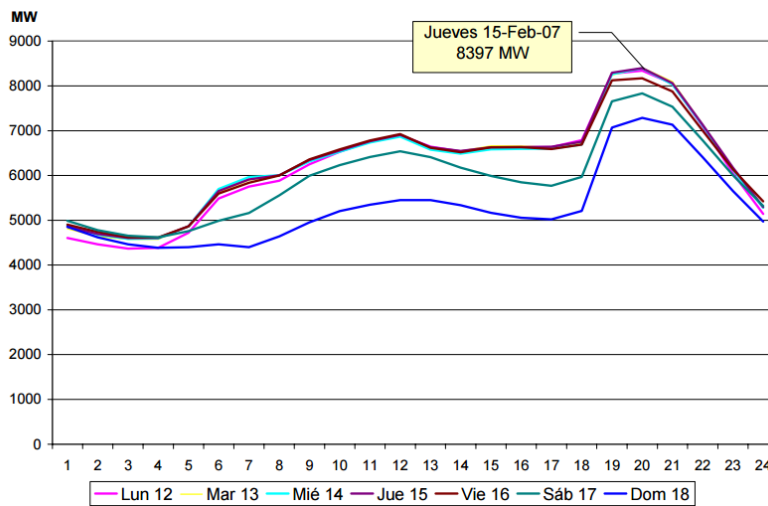


Figura 20. Comportamiento energético colombiano 12 al 18 de febrero del 2007.

Fuente: [83]

Con respecto a la característica 3, los usuarios cuentan con cargas promedio, tales como: planchas, licuadoras, lavadoras, computadores, bombillas eléctricas y demás, *retomar la Tabla 4 (Cargas que generan un consumo eléctrico diario y mensual en un hogar)*, generando así un consumo aproximado al MVE establecido.

Retomando la característica 4, las **Figura 19** y **Figura 20** permiten la caracterización de los datos necesarios para la validación a través de simulación, de estas se analizaron y aproximaron los porcentajes de consumo correspondientes a cada hora durante un día para un hogar estrato 1 y 2, *ver Figura 21*. Estos porcentajes son usados para determinar el flujo de potencia consumida en cada hora del día durante un mes. Adicionalmente, se tomarán los días de lunes a viernes con valores similares, puesto que, como se observa en la **Figura 21**, estos presentan un consumo similar, y los días sábado y domingo son tomados por igual, dado que se presenta un consumo menor. Dentro de la simulación se realizan variaciones: aumento y disminución del consumo de un hogar, cortes del flujo de potencia al finalizar el MVE y posibles recargas por parte del usuario que cubran o no, los días restantes del mes, permitiendo así, plantear diferentes situaciones; esto se puede ver más ampliamente en el **ANEXO F ENTORNO DE SIMULACIÓN DEL MVE Y CONFIGURACIÓN PARA SU FUNCIONAMIENTO**.

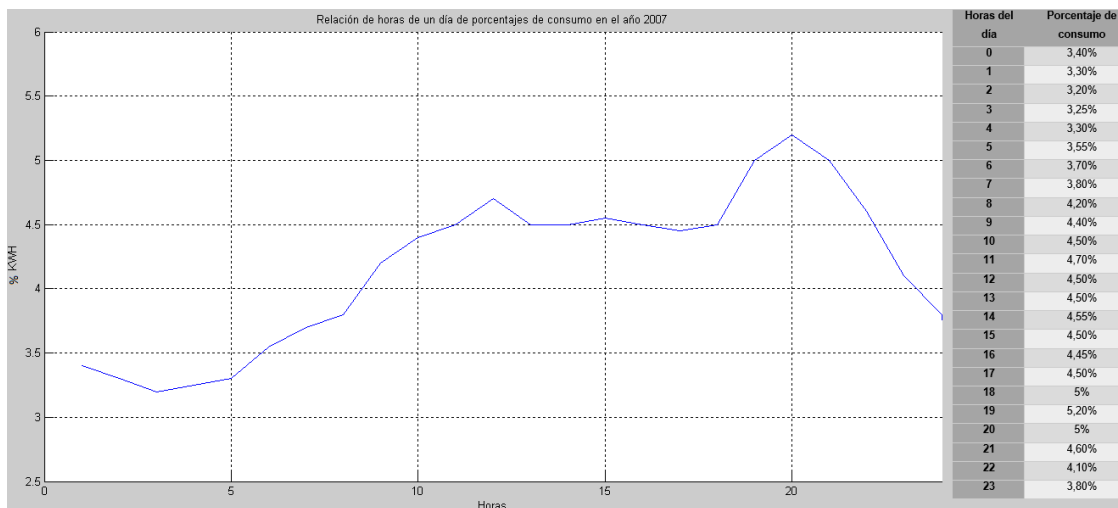


Figura 21. Relación de horas de un día de porcentajes de consumo en el año 2007.

Fuente: Propia.

3.2 Diseño esquemático

Considerando la cuarta etapa del procedimiento de diseño de producto planteada en el presente trabajo de grado, el entorno de simulación permite el desarrollo de la adaptación II sobre el mecanismo I seleccionado previamente, esta representa la configuración de los parámetros necesarios para su funcionamiento, como lo son el monitoreo constante del consumo del flujo de potencia, el corte y reconexión de este, las pautas para la generación de alarmas (locales y remotas), la aceptación de recargas y la conexión con la BD del OR que facilita los datos de consumo del usuario, esto podrá ser configurable por el OR según la necesidad que este requiera; todo lo mencionado anteriormente, es unido y adaptado con el objetivo de simular el proceso del sistema prepago actual, representando un consumo ideal del MVE por parte de los usuarios, además del descuento constante del consumo energético que dependerá de la resolución escogida al llegar a un umbral de potencia, asimismo, se generan alarmas que permitan al usuario tener conocimiento de la posible finalización del MVE otorgado: si este es consumido antes de finalizar el mes, el usuario puede realizar una recarga adicional, si no cubre lo que resta del mes, se generaran nuevas alarmas dando la opción de que se realice una nueva. Además, se deja planteado una serie de interfaces que representan la interacción de la adaptación al medidor con el usuario y el OR, para facilitar el entendimiento del funcionamiento del mismo, ver *ANEXO F ENTORNO DE SIMULACIÓN DEL MVE Y CONFIGURACIÓN PARA SU FUNCIONAMIENTO*.

3.2.1 Diseño a nivel de simulación del mecanismo I

Con el fin de preparar las simulaciones de la adaptación sobre mecanismo I seleccionado teniendo en cuenta el procedimiento de diseño definido, a continuación, se aborda el modelo de casos de uso necesario para entender cómo se realizarían las funciones dentro del proceso de adquisición de flujo de potencia, en relación con la lógica de procedimientos de simulación.

3.2.1.1 Síntesis del Diagrama de casos de uso del mecanismo I

En el mecanismo I seleccionado se hace necesario identificar los actores y las interrelaciones que se presentan cuando se está usando la adaptación IV, es por esto que UML es la herramienta adecuada para modelar el proceso de medición apropiadamente, clarificando así, cómo se realizarán las funciones y acciones de los usuarios.

En la *Síntesis del diagrama de casos de uso del mecanismo I.*, ver **Figura 22**, se sintetiza el diagrama de casos de uso del mecanismo I, ver **Figura 17.**, en el cual se evidencian los 4 actores clave, inicialmente se presenta la *adaptación II* como actor primario, esta se adaptará a los contadores electrónicos actuales y permitirá gestionar el MVE y los datos de consumo, es decir, ejecutará la *acción* de actualizar consumo gracias a la conexión con la base de datos y además, realizará la *acción* de corte y reconexión del flujo de potencia en la vivienda, generando adicionalmente alarmas de recarga y corte del servicio. Por otro lado, se presentan los actores secundarios, primero, se exhibe el usuario, que podrá interactuar con el *actor primario* a través de las *acciones* de recarga y consultas, estas podrán proporcionar información del consumo, el porcentaje restante del MVE y el porcentaje de recarga realizado, lo cual se efectuará tanto local como remotamente; consecutivamente se muestra un segundo actor secundario, el OR, este es la entidad encargada de ofrecer el flujo de potencia a las viviendas, asimismo, esta proporcionará las recargas y consultas remotas a los usuarios. Finalmente, se exhibe la oficina comercializadora encargada de facilitar al usuario la *acción* de recarga local y actualizar los datos de consumo, dado que estaría acreditada por el OR para prestar este tipo de servicios.

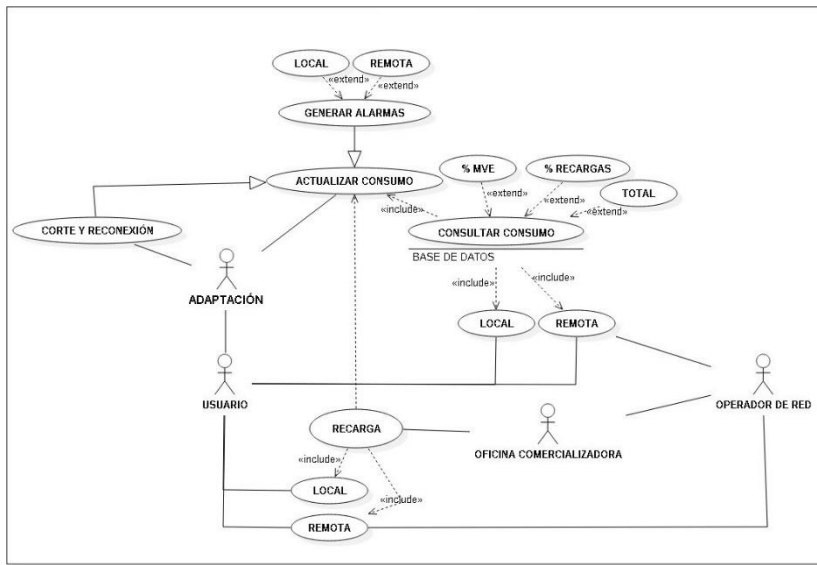


Figura 22. Síntesis del diagrama de casos de uso del mecanismo I.
Fuente: Propia

3.2.1.2 Lógica de procedimientos de simulación

La lógica de procedimientos de simulación, esta soportada sobre los requerimientos operativos, socioeconómicos u técnicos del mecanismo MVE seleccionado, considerando la adaptación II, bajo una modalidad de pago prepago sin N días, con el fin de sintetizar el diagrama de casos de uso en la simulación del MVE. Primero, se inicializan las variables globales y los vectores correspondientes a los parámetros de simulación. Segundo, mediante el uso adecuado de ciclos y lógica en el desarrollo, se establecen sincronizaciones, con el fin de simular las resoluciones diarias de un ambiente real. Tercero, se plantean y realizan una serie de operaciones aritméticas para llevar a cabo el descuento del consumo, la suma de recargas, las comprobaciones de saldos de MVE o recargas, etc...., para finalmente, generar el procedimiento de alarmas de umbral y recarga.

Dado lo anterior, en la **Figura 23** se presenta el diagrama de procedimientos de simulación, correspondiente al mecanismo I.

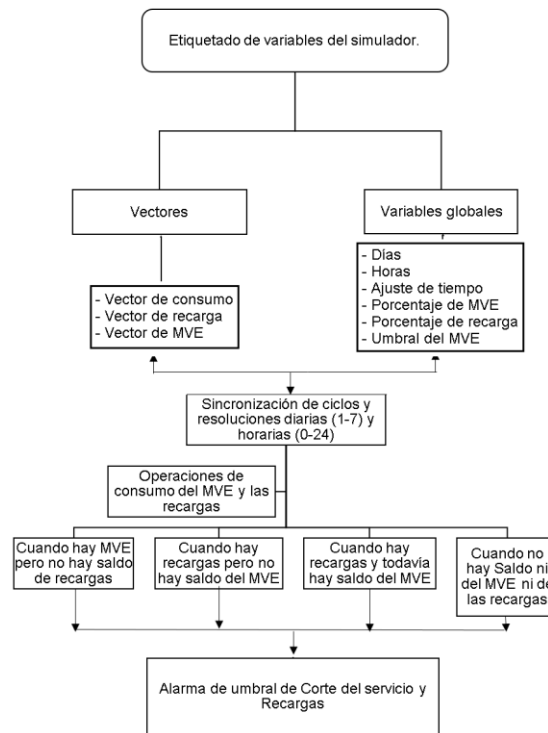


Figura 23. Diagrama de procedimientos de simulación del MVE

Fuente: Propia

Con el modelo de caso de uso UML y el diagrama de procedimientos de simulación, se hace uso de la herramienta *Matlab* con el fin de realizar un entorno de simulación que permita recrear el funcionamiento del MVE bajo el procedimiento de diseño de producto definido:

- Mecanismo I
- Adaptación II.
- Procedimiento sin N días para una modalidad de pago prepago

El entorno permite que los diferentes actores (usuario, OR, oficina comercializadora) y las acciones (consultas, recargas, etc....) que se llevan a cabo en el desarrollo de implementación del MVE en el mecanismo I con la adaptación II, sean de fácil entendimiento y realización. Para el buen funcionamiento del mismo, fue necesario generar vectores de datos, ciclos de sincronización, entre otros parámetros y procedimientos; para mayor detalle del entorno de simulación y su código correspondiente, ver el **ANEXO F ENTORNO DE SIMULACIÓN DEL MVE Y CONFIGURACIÓN PARA SU FUNCIONAMIENTO**.

3.2.2 Simulación de situaciones

Con un entorno de simulación disponible en *Matlab* bajo el procedimiento de diseño definido, se retomaron de la sección 2.3.3.5 las 4 situaciones para analizar y simular:

1. El usuario realiza una recarga después del corte del flujo de potencia, por un valor que no cubre lo que consumirá el resto del mes.
2. Se lleva a cabo el corte del flujo de potencia y el usuario recarga un valor que cubre lo que resta del mes.
3. El usuario realiza una recarga antes del flujo de potencia, por un valor que alcanza a cubrir lo que resta del mes y le sobra.
4. El usuario no realiza ninguna recarga ni antes ni después del corte del flujo de potencia.

Primero, se realiza el análisis de las simulaciones correspondientes a las situaciones simuladas por parejas (I y III, II y IV). Cada situación representa un periodo de tiempo de un mes de consumo energético por parte de un hogar de estrato socioeconómico bajo en Colombia, se realizan 2 simulaciones (dos situaciones cada una) de 2 meses cada una con resolución de un día³, con el fin de analizar de manera más específica las acciones del usuario y el OR sobre mecanismo I y en particular sobre la adaptación II. Las convenciones a utilizar sobre estas simulaciones son las siguientes:

- Amarillo: Inicio del MVE.
- Rojo: Alarmas del MVE.
- Negro: Reconexión.
- Verde: Recarga.
- Azul: Descongelamiento de recarga.
- La orientación de la punta de la flecha indica sobre quien se ejecuta la acción.

Por otro lado, se realizan 2 simulaciones del consumo de una semana con resoluciones de un día y de una hora en un hogar de estrato socio económico bajo, con el fin de hacer una comparación o contraste del efecto de la resolución de la medición. En las simulaciones se supone un consumo ideal del MVE. Finalmente, se realiza una simulación que permite observar el comportamiento y diferenciación de las curvas de consumo energético de cada día de esa semana con una resolución de 1 hora.

3.2.2.1 Simulación de situaciones I y III

La situación I simula el primer mes de consumo del usuario, en donde él recarga después de finalizado el MVE, pero el valor recargado no le alcanza a cubrir los días que faltan del mes, por lo que se interrumpe de nuevo el flujo de potencia

³. Un OR convencionalmente realiza lecturas mensuales del consumo, con la tecnología propuesta se plantea lecturas cada 24 horas o diarias.

y se espera a que inicie el segundo mes para volver a contar con el MVE. A continuación, la situación III simula el segundo mes, en el cual el usuario realiza una recarga antes de que se generen las alarmas de corte del servicio, congelando la recarga, a la espera de ser utilizada en caso de terminar el MVE antes de concluir el mes.

En la simulación del comportamiento del consumo de 2 meses en un hogar de estrato socioeconómico bajo, el MVE es fijado e inicia para efectos de practicidad y estadísticas nacionales en 130 KWh desde el día 1, ver **Figura 24**. La asíntota de color azul representa la división del consumo mensual, dadas las 2 situaciones planteadas I y II, en el primer mes se presenta un consumo total del MVE en los primeros 19 días, el usuario realiza una recarga (circunferencia de color verde en la curva de consumo) al siguiente día, la cual no cubre lo que resta del mes por lo que se le suspende el servicio el día 27; hasta que, al inicio del segundo mes el usuario vuelve a contar con los 130 KWh de su MVE. En este segundo mes, se genera una recarga antes del corte del consumo inicial (ver circunferencia verde), la cual es congelada por el sistema dado que el usuario aún cuenta con el MVE. La recarga se descongela en el día 22 del segundo mes (consume su MVE), permitiendo que el flujo de potencia no sea suspendido al terminar el MVE, se considera en la situación III planteada que la recarga cubre lo que resta del mes, ver **Figura 24**.

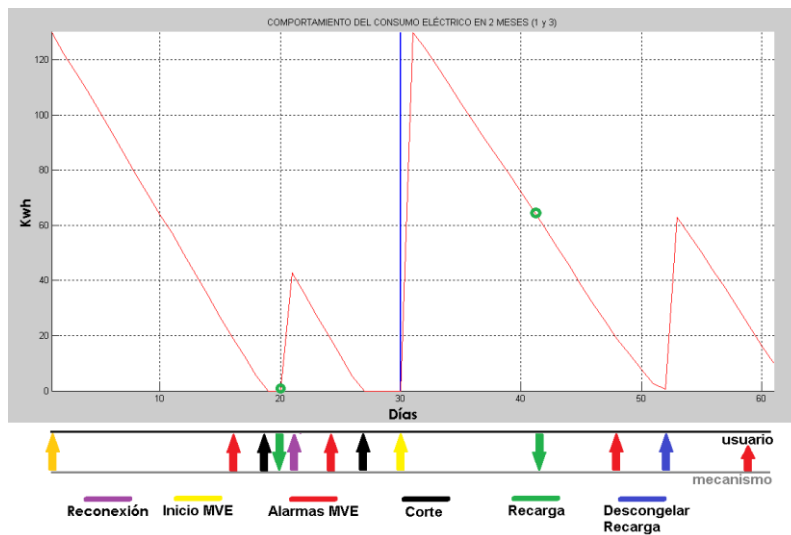


Figura 24. Simulación de los casos 1 y 3 del consumo de 2 meses en un hogar de estrato socioeconómico bajo.

Fuente: Propia.

3.2.2.2 Simulación de situaciones II y IV

En esta sección, la situación II simula el primer mes de consumo del usuario, en donde se lleva a cabo el corte del flujo de potencia y el usuario recarga y alcanza a cubrir los días que faltan del mes, pero queda un sobrante de recarga el cual es congelado para el segundo mes. Asimismo, en la situación IV, simulada en

el segundo mes, el usuario no realiza ninguna acción de recarga sobre la adaptación, por consiguiente, se procede a cortar el servicio energético, pero al instante la recarga sobrante del anterior mes es descongelada, permitiéndole al usuario seguir contando con flujo de potencia en su hogar por unos días más. Sin embargo, el servicio es cortado antes de terminar el segundo mes de consumo, dado que la recarga congelada no cubre los días faltantes, ver **Figura 25**.

De acuerdo a lo anterior, se observa un consumo con corte en el día 20, en él se genera una recarga al instante (ver circunferencia verde), cubriendo los días restantes para terminar dicho periodo y dejando un sobrante de flujo de potencia, el cual se congela hasta el siguiente mes, si se presenta un posible corte. A continuación, inicia el segundo mes con el MVE fijado previamente, con un posterior corte a los 20 días del consumo, sin embargo, existe una recarga congelada del mes anterior (ver circunferencia verde) la cual se descongela antes de llegar al umbral de consumo energético establecido en la simulación (20 Kwh), lo que permite que no se suspenda el servicio, no obstante, dicha recarga no cubre lo que resta del mes en cuestión, por lo que se le suspende el servicio el día 29 de éste, ver **Figura 25**.

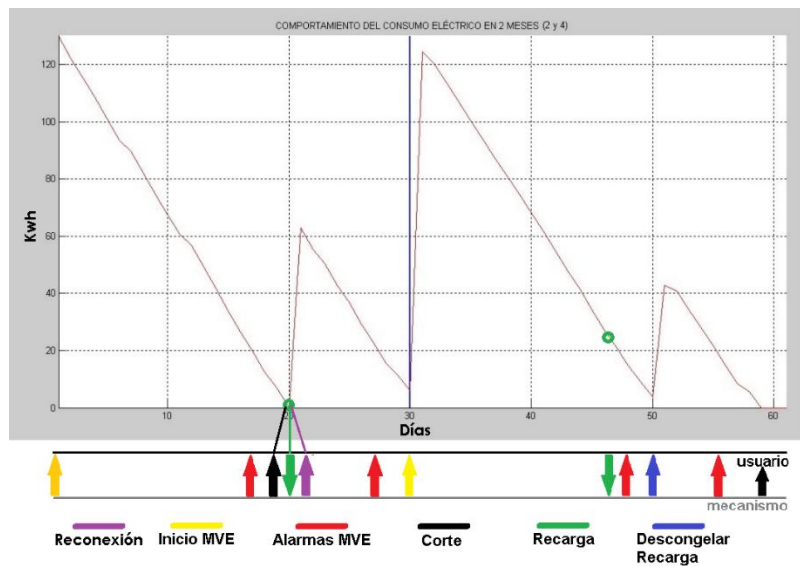


Figura 25. Simulación de los casos 2 y 4 del consumo de 2 meses en un hogar de estrato socioeconómico bajo.

Fuente: Propia.

Las 2 simulaciones descritas anteriormente, emulan las 4 situaciones escogidas (I, II, III y IV) que se pueden generar dado la adaptación y el mecanismo propuestos en el presente trabajo de grado, con el fin de facilitar el entendimiento en la implementación del MVE en el país.

3.2.2.3 Comparación de resoluciones

En esta sección se asume que el usuario va a realizar un consumo ideal del MVE durante un mes, y se busca comparar y determinar el efecto de las resoluciones correspondientes a un día y una hora en la lectura del consumo eléctrico por medio de 2 simulaciones.

En la simulación 1 se representa el consumo eléctrico de una semana en los hogares de estratos socioeconómicos bajos, con una resolución de un día (se asume un consumo ideal del MVE), se plantea una situación en la cual el MVE inicial (130 KWh) es usado acorde al comportamiento del consumo nacional. Por lo que la lectura del día 1 (4,3 KWh), ver **Figura 26**, presenta la sumatoria del flujo de potencia consumido en un periodo de tiempo de un día, la situación se repite para los restantes 6 días sin representar un consumo acumulativo. Dado lo anterior, se observa un aumento y un decremento entre el tercer y cuarto día, para seguir un consumo en ascenso y por último como es usual, volver a descender el fin de semana, por ser el periodo en el cual las personas salen de sus hogares para realizar otro tipo de actividades, por lo tanto, se presenta un menor uso de los equipos que consumen flujo de potencia, similar que al inicio de la semana, ver **Figura 26**.

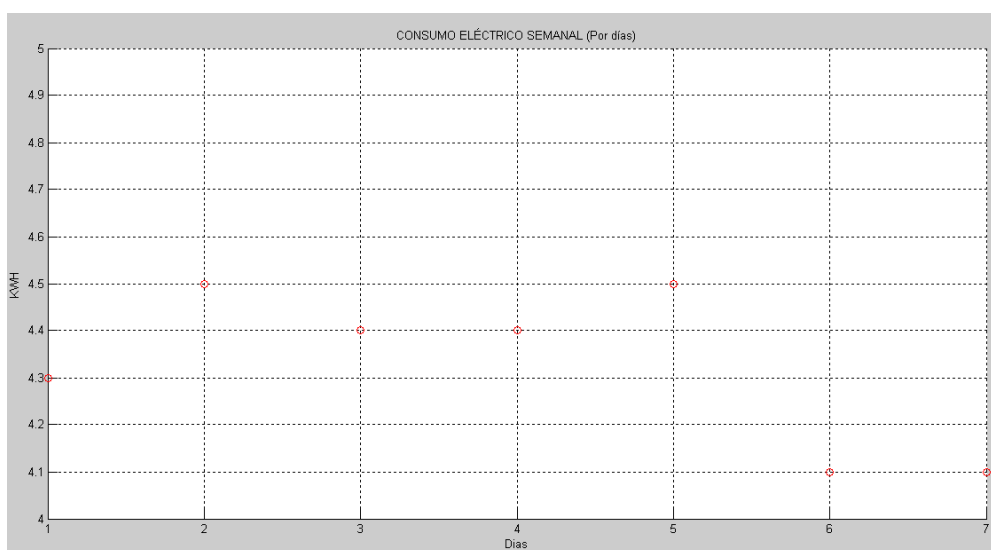


Figura 26. Consumo de flujo de potencia por una semana con una resolución de un día

Fuente: Propia

En la simulación 2, el consumo es similar a la situación previa, sin embargo, la lectura del consumo está realizada con una resolución de una hora, lo cual permite un mayor detalle del comportamiento del consumo, enriqueciendo las curvas de consumo de los hogares tanto en el día como en la semana (cada día

está representado entre las asíntotas de color azul). Se observa que con esta resolución en la lectura es posible discriminar de una manera más medible y finita, los tiempos y picos de consumo durante las distintas horas del día, ver **Figura 27**.

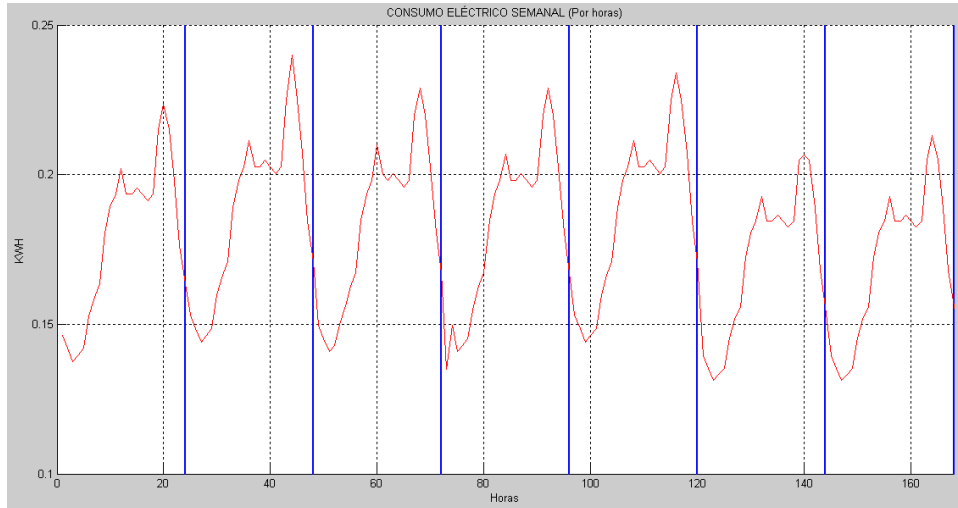


Figura 27. Consumo eléctrico por una semana con una resolución de una hora.

Fuente: Propia

La variación en las resoluciones simuladas no afecta de ninguna manera el comportamiento de la tecnología manejada, ya que el objetivo del sistema simulado es notificar cuando es consumido el MVE, asimismo, se puede deducir que, al realizar las mediciones con una resolución en unidades de tiempo menores a un mes, el actor verdaderamente beneficiado es el OR en cuanto a la mejora en el nivel de detalle en el comportamiento del consumo de energía por parte de los usuarios. Adicionalmente, el usuario también se ve favorecido, puesto que, mejora la toma de decisiones con respecto al consumo racional del flujo de potencia. Sin embargo, el mecanismo propuesto utiliza un módulo de comunicaciones GPRS/GSM que trabaja sobre una plataforma de datos ajena al OR dado que esta es necesaria para la transferencia continua de datos, por lo que desde el punto de vista de la infraestructura de red de telecomunicaciones, se manifiesta un aumento en los costos de uso por parte del OR, ya que los servicios requeridos para utilizar dichas resoluciones representan la ejecución de un monitoreo, soporte y mantenimiento constante de los equipos garantes del “puente de comunicaciones” entre la adaptación y el mecanismo seleccionado.

Comparación de curvas de consumo diarias

Si se toman las curvas de consumo diarias de la simulación previa, y se colocan sobre un mismo horizonte de 24 horas, ver **Figura 28**, se observa como cada

una de las curvas consideradas en la simulación corresponden a un comportamiento diferente, dado que los usuarios presentan una conducta de consumo variable durante los diferentes días de la semana simulada, además, el gasto energético se ve evidenciado en los picos de alto consumo al medio día y en las horas de la noche, esto puede variar acorde al consumo por parte de los usuarios.

En la **Figura 28** se observa un consumo con una resolución de medición de una hora, con la diferencia de la **Figura 27** en que esta representa un consumo en KWh con respecto a las 24 horas del día. Los días son representados por curvas independientes, lo cual permite ver de manera más idónea los picos máximos y mínimos que se presentan en los diferentes instantes de tiempo, facilitando del mismo modo una comparación o contraste del consumo periódico en los hogares de estratos 1 y 2 en Colombia.

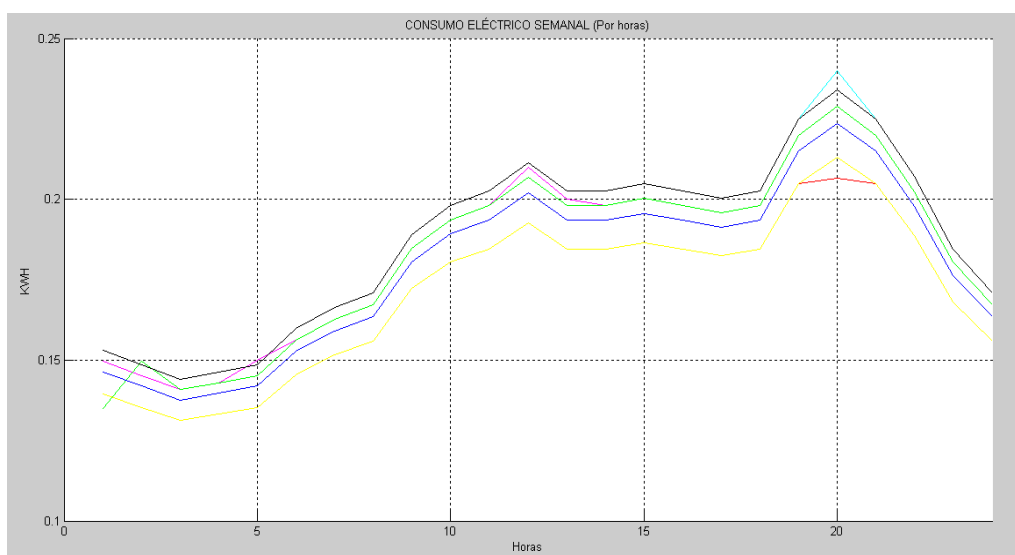


Figura 28. Comparativa del consumo eléctrico de una semana con una resolución de una hora, sobre un mismo horizonte de 24 horas.

Fuente: Propia

Para finalizar con esta sección de simulación del MVE, cabe resaltar que dichas simulaciones abren amplios espacios de análisis sobre los comportamientos de medición del MVE, con respecto al consumo y uso racional del flujo de potencia en hogares colombianos utilizando la modalidad de pago prepago sin N días propuesta, a partir, de la simulación presentada del mecanismo y la adaptación seleccionados. Lo anterior, teniendo en cuenta el planteamiento de los considerandos, el análisis de las situaciones seleccionadas, la comparación de las distintas resoluciones de medición y el análisis del costo-beneficio de la implementación por parte del OR.

3.2.3 Alcance de la simulación

Gracias al desarrollo de un entorno de simulación del mecanismo MVE, que permitiera emular la adaptación a los medidores electrónicos, con respecto a unas particularidades de los usuarios del MVE, una lógica de programación, unas situaciones seleccionadas y una comparación en las lecturas de medición, se procede a evaluar dicho diseño bajo los requerimientos técnicos, operativos y socioeconómicos fijados previamente con base en el procedimiento de diseño de producto definido, ver **Tabla 24**.

Tabla 24. Resumen del alcance del entorno de simulación

Requerimientos Técnicos	Entorno de simulación	
	SI	NO
El mecanismo debe permitir comunicación con los medidores de energía electromecánicos, electrónicos y prepagos.	X	
El mecanismo debe permitir que el usuario realice recargas tanto remotamente como localmente.	X	
El mecanismo debe permitir una interfaz hombre maquina	X	
El mecanismo debe permitir que se realice corte y reconexión remotamente al usuario acorde al consumo de subsistencia y al consumo de cargas promedio del MVE.	X	
El sistema en el que se implementa el mecanismo debe permitir comunicaciones con una plataforma web.	X	
El sistema en el que se implementa el mecanismo debe permitir que la plataforma web cuente con una base de datos para almacenar información proveniente de él.		X
El sistema en el que se implementa el mecanismo debe permitir que la plataforma web realice comunicación bidireccional.	X	
Requerimientos Operativos		
El mecanismo debe funcionar sobre unos considerandos o “reglas de juego” que garanticen el suministro del MVE.	X	
El mecanismo debe permitir implementar una modalidad de pago prepago.	X	
El mecanismo debe permitir realizar recargas tanto locales como remotas.	X	

El mecanismo debe permitir el monitoreo continuo de datos por parte del OR.	X	
El mecanismo debe permitir la retroalimentación del estado del MVE.	X	
Requerimientos socioeconómicos		
El mecanismo debe permitir fijar un consumo de subsistencia asociado al MVE.	X	
El mecanismo debe garantizar la implementación del MVE a estratos 1 y 2 en Colombia.	X	
El mecanismo debe funcionar acorde al consumo de las cargas promedio en hogares de estratos 1 y 2 en Colombia.	X	
El mecanismo debe tener un precio competitivo con respecto a las actuales tecnologías de competencia como AMI.	X	

Fuente: Propia.

En la tabla anterior, se observa que el entorno de simulación cumple la mayoría de requerimientos planteados en la selección de un potencial mecanismo técnico, con el propósito de facilitar la simulación y la evaluación de las situaciones escogidas que responden a la garantizar la implementación del MVE.

Conclusiones y Trabajos futuros

Conclusiones

El procedimiento metodológico propuesto permite un desarrollo adecuado de la problemática planteada, es decir, proporciona las herramientas y pautas necesarias para conformar una estructura que facilite el diseño adecuado de un producto, en el caso de estudio particular, esta permitió establecer un mecanismo técnico para implementar el MVE en estratos 1 y 2 en Colombia, el cual permite comunicación con los medidores electrónicos a través de una adaptación propuesta que brinda una lectura del flujo de potencia confiable, además de permitir realizar recargas tanto locales como remotas de flujo de potencia mediante una interfaz hombre-máquina, también, realizar corte y reconexión remotamente al usuario acorde al consumo de subsistencia y al consumo de cargas promedio del MVE, comunicaciones bidireccionales con una plataforma web del OR que albergue una base de datos para almacenar y gestionar la información del MVE y finalmente, ser competitivo en una relación costo/beneficio para el OR, en el cumplimiento de una potencial regulación que obligue llevar a cabo la implementación del MVE.

La clasificación o relación propuesta de los diferentes tipos de medidores utilizados en el mercado actual, permite llevar a cabo la implementación del MVE y aporta un conocimiento más amplio tanto de los medidores como de las técnicas de lectura de medición existentes, facilitando la comprensión de las características faltantes en estos tanto software como hardware con respecto a la medición inteligente.

Los requerimientos operativos, socioeconómicos y técnicos establecidos, determinan la caracterización necesaria para el desarrollo del potencial mecanismo técnico que garantice la implementación del MVE, estos pueden ser tomados como pautas o lineamientos a tener en cuenta no solo para la implementación del MVE sino para estudios o desarrollos para el otorgamiento de mínimo vital en el resto de los servicios públicos domiciliarios.

Los considerandos y procedimientos planteados proporcionan etapas que limitan el alcance del MVE en el momento de ser implementado, permitiéndole a los OR y a los entes regulatorios un campo de conocimiento más amplio, siendo estos planteados

bajo las 2 modalidades de pago: Postpago y prepago, y analizados teniendo en cuenta el otorgamiento de los N días posteriores a la finalización del MVE y sin el uso de estos.

El entorno de simulación valida la solución seleccionada, es decir, certifica el cumplimiento de los requerimientos operativos, socioeconómicos y técnicos por parte del mecanismo seleccionado, adicionalmente, las simulaciones comparativas de ciclos por resoluciones, permiten adicionalmente un análisis con respecto al monitoreo continuo de los eventos por parte de los usuarios y la recepción periódica de dicha información.

Trabajos futuros

Con base en la investigación y planteamiento desarrollado en el actual trabajo de grado se pueden desplegar otros trabajos como lo son:

- Incorporar la adaptación a los medidores actualmente usados en los hogares colombianos de estratos socioeconómicos 1 y 2, para así facilitar la implementación del MVE en estas viviendas. Además, diseñar la interfaz remota propuesta que permita transmitir adecuadamente la información requerida por el usuario y el OR, con el objetivo de que ésta sea de fácil uso y operaciones sencillas que no suministren gran complejidad y pueden ser usadas por todo tipo de usuario.
- Desarrollar el análisis, estudio, simulación y planteamiento de los procedimientos postpago y prepago con N días de energía eléctrica posteriores al fin del MVE, además es importante resaltar que la simulación de estos puede contribuir notoriamente a la implementación del mecanismo bajo estas condiciones, dado que esto proporcionaría un campo de conocimiento más amplio al OR.
- Realizar una simulación del sistema completo en una herramienta software, la cual permita observar y verificar la transición y recepción de paquetes de datos, comprobando así, la comunicación bidireccional de información entre el operador de red y el usuario, además de la gestione informes con respecto a la forma de salida, transporte y llegada de esta.

Referencias

- [1] A. MALISSARD, LOS ROMANOS Y EL AGUA. LA CULTURA DEL AGUA EN LA ROMA ANTIGUA, Barcelona: Herder, 1996.
- [2] M. A. EDDY, AMERICAN SEWARAGE PRATICE, Londres: McGraw-Hill Book Company Inc, 1914.
- [3] G. TCHOBANOGLOUS, REDES DE ALCANTARIALLADO Y BOMBEO DE AGUA RESIDUALES, Barcelona : Labor, 1985.
- [4] NATGAS, «NATURALGAS.ORG,» Natgas, 20 Septiembre 2013. [En línea]. Available: <http://naturalgas.org/overview/history/>. [Último acceso: 12 Octubre 2016].
- [5] R. M. CEVERA, «BOBINA DE TESLA,» Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas, Chiapas, 2012.
- [6] M. A. R. POZUETA, «CORRIENTE ALTERNA MONO Y TRIFÁSICA,» Universidad de Cantabria, España, 2010.
- [7] M. B. REŠETAR, «NIKOLA TESLA,» Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales, España, 2008.
- [8] S. LÓPEZ ARIAS, «ILUMINACIÓN Y ALUMBRADO PÚBLICO,» Universida Nacional de Colombia, Bogotá D.C., 2015.
- [9] G. V. LONDOÑO, «VALORACION DE EMPRESAS DE CONCESION DE ALUMBRADO PUBLICO EN COLOMBIA,» Intituto Colombiano de Estudios Superiores de INCOLDA - ICESI, Cali, 2004.
- [10] HISTORY, «LA CIUDAD ARGENTINA DE LA PLATA ES LA PRIMEA DE LATINOAMÉRICA EN CONTAR CON ALUMBRADO PÚBLICO ELÉCTRICO,» HISTORY, 27 Abril 1886. [En línea]. Available: <http://co.tuhistory.com/hoy-en-la-historia/la-ciudad-argentina-de-la-plata-es-la-primera-de-latinoamerica-en-contar-con>. [Último acceso: 11 Noviembre 2016].
- [11] J. A. L. C. G. C. M. ELADIO REY GUTIERREZ, «UNA VISIÓN HISTORICA DE LOS SERVICIOS PÚBLICOS EN COLOMBIA,» *Tecnogestión*, vol. 8, nº 1, 2011.
- [12] M. A. L. RIOS, «ALCANTARILLAS Y AGUAS PARA BOGOTÁ 1870-1924. DEL CAOS SANITARIO A LA TRANSFORMACIÓN DE ESPACIOS PÚBLICOS Y PRIVADOS,» Pontifica Universidad Javeriana, Bogotá, 2015.

- [13] A. M. D. BOGOTÁ, «LA ENERGÍA EN BOGOTA: 111 AÑOS DE HISTORIA,» Amado Gonzáles & Cia. Ltda. Impresores, Bogotá, 2007.
- [14] J. R. E. NADER, *LEY 142 - SERVICIOS PÚBLICOS DOMICILIARIOS*, Colombia: SENADO DE LA REPUBLICA DE COLOMBIA - Diario Oficial No. 41.433, 1994.
- [15] J. R. E. NADER, *LEY 143 - ELÉCTRICA* -, Colombia: SENADO DE LA REPUBLICA DE COLOMBIA, 1994.
- [16] C. A. C. PANTOJA, «ACERCAMIENTO AL DERECHO FUNDAMENTAL AL MÍNIMO VITAL DEL AGUA POTABLE Y SU PRESTACIÓN COMO SERVICIO PÚBLICO DOMICILIARIO EN COLOMBIA,» Pontificia Universidad Javeriana Cali, Santiago de Cali, 2014.
- [17] P. A. N. MUNDIAL, «DECLARACIÓN UNIVERSAL DE DERECHOS HUMANOS,» Universal, 1948.
- [18] H. D. J. B. ANGARITA, «SENTENCIA N° T-426/92,» CORTE CONSTITUCIONAL, 24 Junio 1992. [En línea]. Available: <http://www.corteconstitucional.gov.co/relatoria/1992/T-426-92.htm>. [Último acceso: 12 Octubre 2016].
- [19] L. J. S. L. ALEJANDRO CASTRILLÓN LÓPEZ, «ENERGÍA PREPAGO, ¿ALTERNATIVA DE SOLUCIÓN A LOS PROBLEMAS DE DESCONEXIÓN? DEBATE SOBRE EL MÍNIMO VITAL DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN COLOMBIA,» Universidad de San Buenaventura Seccional Medellín, Medellín, 20114.
- [20] A. N. CONSTITUYENTE, «CONSTITUCIÓN POLÍTICA DE COLOMBIA DE 1991,» BOGOTÁ, 1991.
- [21] S. D. L. R. D. COLOMBIA, «PROYECTO DE LEY 101 de 2013,» Congreso de la República de Colombia, Bogotá, 2013.
- [22] S. D. L. R. D. COLOMBIA, «PROYECTO DE LEY 09 de 2013,» Congreso de la República de Colombia, Bogotá, 2013.
- [23] S. D. L. R. D. COLOMBIA, «PROYECTO DE LEY ESTATUTARIA 174 DE 2012,» Congreso de la República de Colombia, Bogotá, 2012.
- [24] S. Y. C. COMITÉ DE DERECHOS ECONÓMICOS, «OBSERVACIÓN GENERAL N° 15: DERECHO AL AGUA,» Organización de las Naciones Unidas, New York, 2002.

- [25] O. D. A. C. D. L. N. U. P. L. D. H. E. GINEBRA, «EL DERECHO AL AGUA. FOLLETO INFORMATIVO N° 35,» Naciones Unidas, Geneva, 2011.
- [26] P. D. L. O.-A. P. L. P. Y. L. C. E. E. M. D. DECENIO y C. D. C. P. E. A. Y. SANEAMIENTO, «EL DERECHO HUMANO AL AGUA Y AL SANEAMIENTO,» Naciones Unidas, 2015.
- [27] «SENTENCIA T-740/11,» CORTE CONSTITUCIONAL, 8 Agosto 2009. [En línea]. Available: <http://www.corteconstitucional.gov.co/relatoria/2011/T-740-11.htm>. [Último acceso: 11 Octubre 2016].
- [28] F. A. MAZO ELORZA, «SERVICIOS PÚBLICOS DOMICILIARIOS: ¿DERECHOS HUMANOS O PRODUCTOS PARA LA VENTA? CASO MEDELLÍN.,» *El Ágora USB*, vol. 14, n° 2, pp. 583-600, 2014.
- [29] E. RESTREPO GUTIÉRREZ, «ÁNÁLISIS JURISPRUDENCIAL DEL ACCESO AL AGUA POTABLE PARA EL CONSUMO HUMANO.,» Universidad Nacional de Colombia, Medellín, 2014.
- [30] G. PETRO, «DECRETO N°064,» Alcaldía Municipal de Bogotá, Bogotá, 2012.
- [31] E. GUTIERREZ RESTREPO y C. A. ZÁRATE YEPES, «EL MÍNIMO VITAL DE AGUA POTABLE EN LA JURISPRUDENCIA DE LA CORTE CONSTITUCIONAL COLOMBIANA,» *Revista Opinión Jurídica Universidad de Medellín*, vol. 15, n° 29, pp. 123-140, 2015.
- [32] C. M. D. L. ESTRELLA, «ACUERDO N° 005: "POR MEDIO DEL CUAL SE INSTITUCIONALIZA EI PROGRAMA MÍNIMO VITAL DE AGUA PARA LOS SUSCRIPTORES DE LA EMPRESA DE SERVICIOS PÚBLICOS LA ESTRELLA S.A. DEL MUNICIPO DE LA ESTRELLA",» Consejo Municipal de La Estrella, La Estrella, 2012.
- [33] A. SALAZAR JARAMILLO, «DECRETO N° 1889,» Alcaldia de Medellín, Medellín, 2001.
- [34] «ALCALDIA DE MEDELLÍN:CUENTA CON VOS,» [En línea]. Available: <https://www.medellin.gov.co/irj/go/km/docs/wpcontent/Sites/Subportal%20del%20Ciudadano/Medell%C3%ADn%20solidaria/Secciones/Publicaciones/Documentos/2009/Cartilla%20Minimo%20Vital.pdf>. [Último acceso: 11 Octubre 2016].
- [35] C. E. OBREGON LÓPEZ, «DECRETO 485,» Alcaldía de Bogotá, Bogotá, 2011.
- [36] L. F. BOHORQUEZ, «ACUERDO N°032,» Consejo de Bucaramanga, Bucaramanga, 2013.

- [37] R. A. FIGUEROA MIRANDA, «ACUERD 0370,» Consejo de Santiago de Cali, Cali, 2014.
- [38] R. VELASCO GUERERO, «ACUERDO N° 078,» Alcaldía de Santiago de Cali, Cali, 2014.
- [39] M. A. P. O. Y. G. A. V. MOLINA, «Subsidios Eléctricos,» Pontificia Universidad Católica de Chile, Santiago de Chile, 2005.
- [40] A. TOLEDO, «LEY 27510,» El Congreso de la República, Lima, 2001.
- [41] A. TOLEDO, «LEY 28307,» Congreso de la República, Lima, 2004.
- [42] M. ENERGÍA, «CASA ROSADA, PRESIDENCIA DE LA NACIÓN,» [En línea]. Available: <http://www.casarosada.gob.ar/tarifasocial/>. [Último acceso: 20 Noviembre 2016].
- [43] L. M. ROSERO, «ESTRATIFICACIÓN SOCIOECONÓMICA COMO INSTRUMENTO DE FOCALIZACIÓN,» *ECONOMÍA Y DESARROLLO*, vol. 3, n° 1, pp. 54-67, 2004.
- [44] E. PEDROZA ARIAS y J. A. VASQUEZ LOMBANA, «DISEÑO DE UN SISTEMA ELÉCTRICO RESIDENCIAL CON ENERGÍA SOLAR, PARA SUMINISTRAR ENERGÍA A LA RED ELÉCTRICA DE UNA VIVIENDA UNIFAMILIAR EN YOPAL-CASANARE,» Universidad Nacional Abierta y a Distancia "UNAD", Yopal, 2014.
- [45] C. A. F. PIEDRAHITA, *RESOLUCIÓN UPME 0355*, Bogota: Unidad de planeación minero - Energetica, 2004.
- [46] M. V. C. GUTIERREZ, «ESTUDIO PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE INFRAESTRUCTURA DE MEDICIÓN AVANZADA AMI EN LA EMPRESA ELÉCTRICA REGIONAL CENTRO SUR C.A,» 2011.
- [47] J. P. D. Y. J. C. D. L. C. FRANZ BERMEO QUESADA, «LECTURA, CORTE Y RECONEXIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA USANDO LA RED GSM/GPRS,» 2009.
- [48] N. C. JARAMILLO, «UNA APROXIMACIÓN A LA ADOPCIÓN DE MEDIDORES INTELIGENTES EN EL MERCADO ELÉCTRICO COLOMBIANO Y SU INFLUENCIA EN LA DEMANDA,» 2013.
- [49] B. B. S. D. SURYATABA ROY, «INTELLIGENT INTEGRAL ADVANCED METERING INFRASTRUCTURE –IAMI,» Power and advance controlengineering (ICPACE) 2015 international conference on , 2015.

- [50] R. C. L. J. C. M. C. J. M. R. Y. J. G. H. JOSE MARTIN GOMEZ LOPEZ, «APLICACIÓN DE TECNOLOGÍAS DE MEDICIÓN AVANZADA (AMI) COMO INSTRUMENTO PARA REDUCCIÓN DE PÉRDIDAS,» 2015.
- [51] J. M. A. B., «SERVICIO DE MEDICIÓN AVANZADA (AMI) PARA REDES INTELIGENTES Y SU ADAPTABILIDAD EN EL MARCO DE LA LEGISLACIÓN ECUATORIANA,» 2011.
- [52] M. R. A. Y. H. TAHERIAN, «SHORT-TERM PRICE FORECASTING CONSIDERING DISTRIBUTED GENERATION IN THE PRICE-SENSITIVE ENVIRONMENT OF SMART GRIDS,» Renewable Energy & distributed generation (ICREDG) 2016 Iranian Conference on, 2016.
- [53] M. POPA, «DATA COLLECTING FROM SMART METERS IN AN ADVANCED METERING INFRASTRUCTURE,» Intelligent Engineering systems (INES), 2011 15th IEEE international Conference on, 2011.
- [54] K. R. Y. K. S. P. BALAKRISHNA, «ANALYSIS ON AMI SYSTEM REQUIREMENTS FOR EFFECTIVE CONVERGENCE OF DISTRIBUTION AUTOMATION AND AMI SYSTEMS,» Power India International Conference (PIICON) 2014 6th IEEE, 2014.
- [55] D. S. Y. V. C. L. MOHAMED MOHANDES, «ASSESSMENT OF TRANSMISSION SUBSTATIONS FOR AMI UPGRADE (KSA CASE STUDY),» Automatic Control and Dynamic optimization techniques (ICACDOT) International Conference on, 2016.
- [56] B. B. S. SURYATAPA ROY, «ADVANCED METERING INFRASTRUCTURE FOR REAL TIME LOAD MANAGEMENT IN A SMART GRID,» Power and advance control Engineering (ICPACE), 2015 IEEE international conference on, 2015.
- [57] F. Z. Z. B. B. L. Q. Y. Y. Y. C. WANRONG QJU, «CLUSTERING APPROACH AND CHARACTERISTIC INDICES FOR LOAD PROFILES OF CUSTOMERS USING DATA FROMAMI,» Electricity Distribution (CICED) 2016 China International Conference on, 2016.
- [58] S. C. C. B. Y. C. L. DIEGO F. RAMIREZ, «PERFORMANCE EVALUATION OF FUTURE AMI APPLICATIONS IN SMART GRID NEIGHBORHOOD AREA NETWORKS,» Communications and computing (COLCOM) 2015 IEEE Colombian Conference on, 2015.
- [59] N. A. Y. V. C. L. PARIJA JOKAR, «ELECTRICITY THEFT DETECTION IN AMI USING CUSTOMERS' CONSUMPTION PATTERNS,» IEEE transactions on Smart Grid, 2016.

- [60] G. K. ,. V. Y. S. S. VITO FUSCO, «SMART AMI BASED DEMAND-RESPONSE MANAGEMENT IN A MICRO-GRID ENVIRONMENT,» Power systems Conference (PSC) 2016 Clemson University, 2016.
- [61] N. CASTAÑO JARAMILLO, «UNA APROXIMACIÓN A LA ADOPCIÓN DE MEDIDORES INTELIGENTES EN EL MERCADO ELÉCTRICO COLOMBIANO Y SU INFLUENCIA EN LA DEMANDA,» Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, 2013.
- [62] B. M. BEGOÑA GONZALES, «LA DINÁMICA DE SISTEMAS COMO METODOLOGÍA PARA LA ELABORACIÓN DE MODELOS DE SIMULACIÓN,» Universidad de Oviedo, Oviedo, 1998.
- [63] R. L. CECILIA, «PROPUESTA METODOLÓGICA PARA EL DESARROLLO DE PRODUCTOS,» Universidad del Norte, Barranquilla, 2011.
- [64] J. F. MONTAÑEZ MUÑOZ y C. A. GÓMEZ PEÑUELA, «IMPLEMENTACIÓN DE METODOLOGÍA SIX SIGMA EN LA MEJORA DE PROCESOS Y SEGURIDAD EN LAS INSTALACIONES DE SCHNEIDER ELECTRIC DE COLOMBIA S.A.,» Universidad de Salle, Bogotá, 2006.
- [65] V. P. ALDERETE, A. L. COLOMBO, V. DISTÉFANO y P. WADE, «SIX SIGMA “0 DE CÓMO LAS PINZAS Y MARTILLOS SE TORNAN TECNOLOGÍA DE PUNTA”».
- [66] S. CATHIE y T. ROUT, «A STRUCTURED METHODOLOGY FOR MULTIMEDIA PRODUCT AND SYSTEMS DEVELOPMENT,» Griffith University, Australia, 1998.
- [67] J. M. IVÁÑEZ GIMENO, «LA GESTIÓN DEL DISEÑO EN LA EMPRESA,» Universidad Carlos III de Madrid, España, 2000.
- [68] H. F. MANGON Y JIMENEZ y A. M. GARDUÑO BARAHONA, «DISEÑO Y DESARROLLO DE PRODUCTOS,» Universidad de Guadalajara, Guadalajara.
- [69] M. S. SIERRA, «EL PROCESO DE DISEÑO Y DESARROLLO DE NUEVOS PRODUCTOS Y SU RELACIÓN CON EL MARKETING,» Universidad Nacional de La Plata, Argentina.
- [70] C. AMAYA LUNA y A. C. MENDOZA BAYUELO, «METODOLOGÍA PARA MEJORAR LA INGENIERÍA DE PRODUCTO/PROCESO BASADA EN INGENIERÍA CONCURRENTE,» Universidad del Norte, Barranquilla, 2004.
- [71] ICONTEC, «GUÍA TÉCNICA COLOMBIANA GTC 122,» Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, Bogotá, 2005.

- [72] S. R. VILLEGAS, «GUIA PARA LA DETECCIÓN DE FRAUDES EN SUMINISTROS DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN MEDICIÓN DIRECTA,» Universidad Tecnológica de Pereira, Pereira, 2013.
- [73] I. G. ALEJANDRO ALBORNOZ, «ASPECTOS TÉCNICOS Y REGULATORIOS DEL PREPAGO ELÉCTRICO,» Pontificia Universidad Católica de Chile , Santiago de Chile, 2010.
- [74] M. VILLABLANCA, «MEDIDORES DEL MAÑANA,» *Ingeniare. Revista chilena de ingeniería*, vol. 16, pp. 392-393, 2008.
- [75] D. (. C. S. INC), «INSTRUCTOR TRAINING MANUAL: TWACS BASICS,» Twacs, 2004.
- [76] V. E. P. VÉLEZ, «ESTUDIO PRELIMINAR SOBRE LA VIABILIDAD DE LA IMPLEMENTACIÓN DE MEDIDORES INTELIGENTES DE ENERGÍA EN LOS ESTRATOS 1, 2 Y 3 DE CALI,» Universidad del Valle, Santiago de Cali, 2013.
- [77] J. C. H. CARLOS ÁNDRES DIAZ, «SMART GRID : LAS TICS Y LA MODERNIZACIÓN DE LAS REDES DE ENERGÍA ELÉCTRICA - ESTADO DEL ARTE,» *Revista S&T*, vol. 9, pp. 53-81, 2011.
- [78] E. S. B. MILTON LEANDRO BECERRA HERNANDEZ, «INTEGRACION DE MEDIDORES ELECTRONICOS Y ELECTROMECHANICOS AL SISTEMA AMI CUMPLIENDO CON LOS REQUERIMIENTOS DE EPSA ESP,» Universidad de San Buenaventura, Santiago de Cali, 2011.
- [79] C. M. F. DIEGO GERMÁN ANDRADE, «SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN DE POTENCIA Y TELEMEDIDA,» Schneider Electric Colombia S.A, Colombia, 2009.
- [80] G. V. F. G. R. P. FRANCISCO CASELLAS, «EL CONCEPTO DE SMART METERING EN EL NUEVO ESCENARIO DE DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICA,» Universitat Politècnica de Catalunya. , Barcelona, 2010.
- [81] M. L. GUTIERREZ., «BORRADOR DE PROYECTO DE LEY: POR EL CUAL SE ESTABLECEN LINEAMIENTOS DE POLÍTICA PÚBLICA PARA INCENTIVAR LA AUTOGENERACIÓN A PEQUEÑA ESCALA, LA GESTIÓN DE LA DEMANDA DE ENERGÍA ELÉCTRICA Y LA MEDICIÓN INTELIGENTE.,» Ministerio de Minas y Energía, Colombia, 2016.
- [82] S. D. P. E. -. G. D. D. ENERGÉTICA, «PROYECCIÓN DE DEMANDA DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN COLOMBIA,» UPME, Bogotá D.C., 2013.

- [83] X. S. E.S.P, «CARACTERÍSTICAS DEL SISTEMA ELECTRICO COLOMBIANO,» Empresa del Grupo ISA, Medellin, 2007.
- [84] S. MARAI, CONFESIONES DE UN BURGUES, Hungria: Salamandra.
- [85] B. E. BLASCO, LA HIGIENE URBANA EN MADRID, Madrid: Caja Madrid, 1998.
- [86] A. T. HODGE, ROMAN AQUEDUCTS AND WATER SUPPLY (DUCKWORTH ARCHAEOLOGY), Londres: Bristol Classical Press, 2002.
- [87] B. E. BLASCO, TOLEDO Y MADRID: SISTEMA DE CAPTACIÓN Y USO DEL AGUA PARA SERVICIO DOMÉSTICO EN LA EDAD MODERNA, Madrid , 2014.