

**FORMULACIÓN DE LOS REQUISITOS QUE SE DEBEN INCORPORAR EN EL
RETIE CON EL PROPÓSITO DE APROVECHAR LOS INCENTIVOS
DERIVADOS DE LA APLICACIÓN DE LOS ASPECTOS REGLAMENTADOS A
PARTIR DE LA LEY 1715 DE 2014**

LESLY JOHANA MUÑOZ ZULUAGA



**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍAS ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y DE
TELECOMUNICACIONES
ESPECIALIZACIÓN EN SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN DE ENERGÍA
ELÉCTRICA
BUCARAMANGA
2018**

**FORMULACIÓN DE LOS REQUISITOS QUE SE DEBEN INCORPORAR EN EL
RETIE CON EL PROPÓSITO DE APROVECHAR LOS INCENTIVOS
DERIVADOS DE LA APLICACIÓN DE LOS ASPECTOS REGLAMENTADOS A
PARTIR DE LA LEY 1715 DE 2014**

LESLY JOHANA MUÑOZ ZULUAGA

Trabajo de grado para optar al título de Especialista en Sistemas de Distribución
de Energía Eléctrica

DIRECTOR

MANUEL JOSÉ ORTIZ RANGEL

INGENIERO ELECTRICISTA

Esp. ST&D, MIE

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍAS ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y DE
TELECOMUNICACIONES
ESPECIALIZACIÓN EN SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN DE ENERGÍA
ELÉCTRICA
BUCARAMANGA
2018**

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	13
1. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	18
2. OBJETIVOS	22
2.1. OBJETIVO GENERAL	22
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	22
3. SITUACIÓN ACTUAL.....	23
4. MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL.....	27
4.1. ENTORNO MUNDIAL.....	27
4.2. ENTORNO COLOMBIANO.....	29
4.2.1. Planes.	30
4.2.1.1. Plan Energético Nacional (PEN) Colombia: Ideario Energético 2050.	31
4.2.1.2. Plan Smart Grids Colombia Visión 2030.	31
4.2.2. Políticas.....	32
4.2.2.1. Ley 142 de 1994.....	32
4.2.2.2. Ley 143, julio 11 de 1994. La ley 143.....	33
4.2.2.3. Ley 697 octubre 3 de 2001.....	34
4.2.2.4. Decreto 2331 del 22 de junio de 2007.....	35
4.2.2.5. Decreto 3450 del 12 de septiembre de 2008.....	35
4.2.2.6. Resolución 180919 del 01 de junio de 2010 (Plan de Acción Indicativo del PROURE).....	35

4.2.2.7.	Propuesta de resolución 032 del 25 de junio de 2012.....	36
4.2.2.8.	Ley 1665 del 16 de julio de 2013.....	36
4.2.2.9.	Ley 1715 del 13 de mayo de 2014.	36
4.2.2.10.	Resolución UPME 281 del 06 de junio de 2015.....	38
4.2.2.11.	Resolución CREG 029 del 7 de marzo de 2016.	39
4.2.2.12.	Resolución MME 039 del 15 de marzo de 2016.	39
4.2.2.13.	Norma NTC-ISO 50001 Sistemas de Gestión de la Energía.	39
4.2.2.14.	Resolución 243 del 19 de diciembre de 2016.	39
4.2.2.15.	Resolución UPME 41286 del 30 de diciembre de 2016 (Plan de Acción Indicativo 2017 -2022 PROURE).....	40
4.2.2.16.	Decreto 348 del 01 de marzo de 2017.	40
4.2.2.17.	Resolución CREG 121 del 28 de agosto de 2017 - Derogada por la resolución CREG 030 de 2018.	41
4.2.2.18.	Decreto 1543 del 16 de septiembre de 2017.	42
4.2.2.19.	Resolución MME N° 40072 del 29 de enero de 2018.	43
4.2.2.20.	Resolución CREG 015 del 29 de enero de 2018.	44

4.2.2.21.	Resolución CREG 030 del 26 de febrero de 2018	44
4.2.3.	Normas y reglamentos técnicos vigentes	45
4.2.3.1.	Norma Técnica Colombiana NTC 2050 Código Eléctrico Colombiano.	45
4.2.3.2.	Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público RETILAP del 30 de marzo de 2010.	46
4.2.3.3.	Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas RETIE del 30 de agosto de 2013.	46
4.2.4.	Programas	46
4.2.4.1.	Colombia Inteligente 2010- 2020.	47
5.	REGLAMENTACIÓN VIGENTE Y EN ESTUDIO	49
5.1.	RETIE VERSIÓN 2013	50
5.1.1.	Aspectos del RETIE 2013 relacionados al objeto de estudio	51
5.2.	RETIE EN ESTUDIO	52
5.2.1.	Aspectos del RETIE relacionados al objeto de estudio	53
6.	MODELO DE ARQUITECTURA DE RED INTELIGENTE (RI)	55
7.	RED INTELIGENTE DÓMESTICA APLICABLE A COLOMBIA	59
7.1.	USUARIO RESIDENCIAL	61
8.	PROPUESTA DE INCLUSIÓN DE COMPONENTES TÉCNICOS	67
9.	CONCLUSIONES	69
	BIBLIOGRAFÍA	72

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Resumen de normativa Colombiana.....	48
Figura 2. Modelo SGAM.....	55
Figura 3. Sistemas de energía eléctrica convencional (a) y Sistemas de energía eléctrica Inteligente (b).....	59
Figura 4. Infraestructura de un sistema de gestión residencial.....	61
Figura 5. RI Doméstica	63

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Matriz de conversiones de energía	14
Tabla 2. Componentes que integran una SGAM	57
Tabla 3. Comparación técnica de la red eléctrica actual colombiana frente a una Red Inteligente (RI)	60
Tabla 4. Sugerencia de distribución circuitos ramales	64

LISTA DE ANEXOS

(Ver anexos adjuntos en el CD y pueden visualizarlos en la Base de Datos de la Biblioteca UIS)

Anexo A. R

Anexo B. RETIE en estudio

Anexo C. Resumen normatividad vigente

RESUMEN

TITULO: “FORMULACIÓN DE LOS REQUISITOS QUE SE DEBEN INCORPORAR EN EL RETIE CON EL PROPÓSITO DE APROVECHAR LOS INCENTIVOS DERIVADOS DE LA APLICACIÓN DE LOS ASPECTOS REGLAMENTADOS A PARTIR DE LA LEY 1715 DE 2014”¹

AUTOR: LESLY JOHANA MUÑOZ ZULUAGA²

PALABRAS CLAVES: Eficiencia energética, generación distribuida, incentivos, medición avanzada, operador de red, políticas, reglamento técnico y usuario.

CONTENIDO: El presente documento involucra los resultados derivados de la ejecución de la propuesta de monografía enfocada en la definición de los requisitos técnicos necesarios para la implementación de una red inteligente doméstica (RID), requisitos que se involucran en el documento como sugerencias para incorporar en el Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas (RETIE) con el propósito de aprovechar los incentivos derivados de la aplicación de los aspectos reglamentados a partir de la Ley 1715 de 2015³ y como una oportunidad para incorporar la iniciativa de los usuarios residenciales en las estrategias enfocadas en la gestión energética y en la gestión de la demanda y como una oportunidad para incorporar la iniciativa de los usuarios residenciales en las estrategias enfocadas en la gestión energética y en la gestión de la demanda. El alcance del proyecto se formuló alrededor de cuatro objetivos específicos relacionados a la aplicación de dicha ley y su incidencia como propuesta de actualización del reglamento vigente a partir de una topología genérica de sistema eléctrico residencial en el contexto de una red inteligente doméstica.

¹ Monografía final posgrado desarrollado en modalidad de investigación.

² Facultad de Ingenierías Físico-mecánicas escuela de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones. Director MIE Manuel José Ortiz Rangel.

³ Ley 1715 del 13 de mayo de 2014, por medio de la cual se regula la integración de las energías renovables no convencionales al sistema energético nacional.

ABSTRACT

TITLE: “FORMULATION OF THE REQUIREMENTS THAT MUST BE INCORPORATED IN THE RETIE WITH THE PURPOSE OF MAKING THE INCENTIVES DERIVED FROM THE APPLICATION OF THE REGULATED ASPECTS FROM LAW 1715 OF 2014”⁴

AUTHORS: LESLY JOHANA MUÑOZ ZULUAGA⁵

KEYWOR

DS: Advanced measurement, Colombian electricity system, distributed generation, energy efficiency, incentives, network operator, policies and user.

CONTENT: This document involves the results derived from the execution of the monograph proposal focused on the definition of the technical requirements necessary for the implementation of a Domestic Intelligent Network, requirements that are included in the document as suggestions for incorporation in the Technician Regulation for Electrical Installations (RETIE) with the purpose of taking advantage of the incentives derived from the application of the regulated aspects from law 1715 of 2015 and as an opportunity to incorporate the initiative of residential users in the strategies focused on energy management and in the management of demand and as an opportunity to incorporate the initiative of residential users into strategies focused on energy management and demand management. The scope of the project was formulated around four specific objectives related to the application of said law and its incidence as a proposal to update the current regulation based on a generic residential electrical system topology in the context of a domestic intelligent network.

⁴ Final monograph developed in the research modality.

⁵ Faculty of mechanical-physical engineering / School of electrical, electronic and telecommunications engineering. Director: MIE. José Manuel Ortiz Rangel,

INTRODUCCIÓN

Toda forma de vida se puede explicar en términos de intercambios energéticos; desde la forma más simple hasta la más compleja como la civilización global, la energía es un capital de consumo que no logra permanecer en un estado de equilibrio y todo lo conocido se ha logrado mediante su conversión y aplicación de diversas maneras, y por tanto su entendimiento es esencial para predecir y descifrar la evolución de los sistemas biológicos, las sociedades y las naciones. Desde las formas más elementales de energía como el fuego hasta las más sofisticadas como la energía de las reacciones químicas y los enlaces atómicos, la historia de la humanidad se puede interpretar mediante el desafío permanente de controlar grandes fuentes y flujos de energía y de encontrar aplicaciones cada vez más versátiles con costos más bajos y mayor eficiencia⁶.

La matriz de conversiones energéticas de la tabla No. 1 explica la relación entre las diversas manifestaciones de la energía y las aplicaciones que se pueden encontrar en todo lo conocido, de esta forma, cada transición a una nueva fuente de energía ha implicado el uso intensivo de fuentes energéticas disponibles con un costo ambiental creciente e impactos globales irreversibles, al menos en el mediano plazo.

En este proceso, la tecnología y la diversidad de energéticos han permitido desarrollar energía de manera más segura y con menor impacto ambiental, lo cual ha mejorado la expectativa global de un futuro libre de fuentes contaminantes toda vez que la tecnología supone cada día menos restricciones. Sin embargo, esta circunstancia conlleva una relativa sensación de tranquilidad de una sociedad convencida de la voluntad política enfocada en los propósitos de los acuerdos

⁶ Vaclav Smil, *Energy and Civilization a History*, MIT, 2017.

establecidos en las cumbres energéticas y ambientales globales, aun cuando la inercia de las inversiones que prometen las tecnologías limpias se encuentra rezagada con la dinámica de los engranajes de las enormes economías basadas en el consumo masivo y arraigado de energéticos, materiales y materias primas altamente contaminantes.

Tabla 1. Matriz de conversiones de energía

Desde: Hacia:	ELECTRO MAGNÉTICA	QUÍMICA	NUCLEAR	TÉRMICA	CINÉTICA	ELÉCTRICA
Hasta:						
ELECTRO MAGNÉTICA		Luminiscen cia Química	Dispositivos Explosivos Nucleares	Radiación Térmica	Aceleración de Cargas Eléctricas	Radiación Electro Magnética
QUÍMICA	Fotosíntesis	Procesos Químicos		Ebullición	Disociación por Radiólisis	Electrólisis
NUCLEAR	Reacciones Neutrónes Gamma					
TÉRMICA	Absorción Solar	Combustió n	Fisión / Fusión	Intercambio Calórico	Fricción	Resistencias de Calentamiento
CINÉTICA	Radiometros	Metabolism o	Radioactivida d / Bombas Nucleares	Motores de Combustión Interna	Transmisione s Mecánicas	Motores Eléctricos
ELÉCTRICA	Celdas Soláres	Celdas de Combustible / Baterías	Baterías Nucleares	Termo - Electricidad	Generadores de Electricidad	

Fuente: Vaclav Smil, Energy and Civilization, MIT, 2017.

La sociedad ha definido el punto en el cual las acciones inadecuadas dejan de merecer un estatus moral⁷, sin embargo esto no aplica al fenómeno comercial que se deriva de la explotación económica de los recursos que afectan a los ecosistemas de soporte vital de todas las especies biológicas del planeta.

El presente documento involucra los resultados derivados de la ejecución de la propuesta de monografía enfocada en la definición de los requisitos técnicos necesarios para la implementación de una red inteligente doméstica (RID), requisitos que se involucran en el documento como sugerencias para incorporar en el Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas (RETIE) con el propósito de aprovechar los incentivos derivados de la aplicación de los aspectos reglamentados a partir de la Ley 1715 de 2015⁸ y como una oportunidad para incorporar la iniciativa de los usuarios residenciales en las estrategias enfocadas en la gestión energética y en la gestión de la demanda. El alcance del proyecto se formuló alrededor de cuatro objetivos específicos relacionados a la aplicación de dicha ley y su incidencia como propuesta de actualización del reglamento vigente a partir de una topología genérica de sistema eléctrico residencial en el contexto de una red inteligente doméstica.

Para el cumplimiento de los propósitos formulados se tomó como punto de partida el antecedente histórico sectorial, local e internacional, en los aspectos legales, normativos y reglamentarios de las últimas tres décadas, donde finalmente se involucran nuevas tecnologías para la generación, transporte y uso final de la energía eléctrica, cambiando de manera importante el escenario convencional de los sistemas para proveer energía, y en este caso específico relacionado al uso final de la misma por parte de usuarios finales en el ámbito residencial.

⁷ Gazzaniga, Michael S., El cerebro ético, Paidós, 2015.

⁸ Ley 1715 del 13 de mayo de 2014, por medio de la cual se regula la integración de las energías renovables no convencionales al sistema energético nacional.

Este trabajo supone un aporte a la expectativa de evolución de los aspectos legales que inciden en el reglamento técnico vigente, se involucra una propuesta de modificación apoyada en justificaciones de orden técnico, procedimental y de conveniencia específica para el usuario final de la energía como agente determinante de cualquier estrategia enfocada a la optimización del uso de la energía eléctrica en las cargas de uso final.

El aporte del documento se debe interpretar como oportunidades de mejoramiento de los sistemas eléctricos residenciales, desde las etapas de diseño hasta las etapas constructivas y de operación en el ámbito nacional, de tal manera que facilite aprovechar los incentivos derivados de la aplicación del marco legal en el enfoque del uso racional y eficiente de la energía eléctrica, la sustitución de fuentes primarias contaminantes por fuentes renovables.

El presente documento se encuentra estructurado en diez (10) capítulos, el primero incluye la descripción de la situación actual en el entorno global y nacional relacionado al ámbito y alcance del proyecto. El segundo capítulo relaciona los objetivos propuestos y aprobados. El tercer capítulo involucra una descripción del estado de desarrollo de la reglamentación Colombiana en el enfoque de las redes inteligentes domésticas. El cuarto capítulo contiene un resumen de la experiencia de otros países en cuanto al avance de las leyes y propósitos en cuanto al uso de energías renovables y algunos aspectos reglamentarios de otros países, adicionalmente se involucra en más detalle el resumen del caso Colombiano. El quinto capítulo incluye la síntesis del reglamento técnico y en estudio, teniendo en cuenta los componentes y requisitos técnicos relacionados al uso de energías renovables, vehículo eléctrico y demás infraestructura energética necesaria en las instalaciones eléctricas. Adicionalmente se involucran los requisitos mínimos de los sistemas de comunicaciones necesarias para proveer la funcionalidad de la red inteligente doméstica. El sexto y séptimo capítulo presenta un modelo genérico de la arquitectura de una red inteligente desde el escenario del OR y el usuario final,

así como el modelo detallado de red inteligente doméstica aplicada al caso colombiano. El octavo capítulo sugiere la propuesta de incorporación al RETIE de componentes técnicos relacionados a una red inteligente doméstica. Finalmente se involucra la bibliografía utilizada para la elaboración del documento.

1. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

El desmedido crecimiento de la población mundial está llevando al límite la capacidad de carga de los ecosistemas para mantener el equilibrio entre las necesidades de la vida moderna y el medio ambiente⁹. En esta interacción, la energía constituye un aspecto esencial para garantizar mínimos niveles de bienestar social; sin embargo la manera convencional de obtenerla supone el uso de grandes cantidades de fuentes de energías no renovables y de gran impacto ambiental desde los procesos de extracción hasta su uso final.

De acuerdo a las necesidades de energía básicas de un hogar, se estima que son necesarios alrededor de cien vatios por habitante para lograr una calidad de vida razonable¹⁰, sin embargo, esta cantidad por habitante es apenas una fracción de la cantidad de energía requerida para sostener un estándar de vida occidental o europeo, de cualquier manera resulta evidente que se requiere una cantidad mínima de energía para proveer calidad de vida digna a cada persona y quizás en el futuro pueda constituir un derecho humano esencial toda vez que las restricciones energéticas conducen a la privación de servicios básicos.

Múltiples esfuerzos para reducir los efectos del cambio climático se han encaminado a la disminución del uso intensivo de fuentes convencionales de energía en las áreas de mayor consumo como el transporte, las edificaciones de uso institucional y los artefactos de uso final. Según Agencia Internacional de Energía (AIE)¹¹, la demanda energética aumenta con una tendencia constante de aproximadamente un 5% anual, diversos países han optado por revisar las políticas, los planes y los

⁹ Blansche, Jorge: 2007, La Rebelión de GAIA, Swing.

¹⁰ Sagar, Ambuj D, Alleviating energy poverty for the world's poor, Science, Technology, and Public.

¹¹ Agencia Internacional de Energía, Publicación Renovables 2016 [En línea]. Available <http://www.iea.org/renewables/#section-1-2> [Último acceso: 01 de noviembre de 2017].

reglamentos del sector eléctrico, con el propósito de actualizar los esquemas convencionales y de vincular las nuevas tecnologías de generación de energía eléctrica para garantizar el servicio de electricidad a poblaciones alejadas de la red o para integrar las fuentes no convencionales (FNC) de generación al sistema eléctrico interconectado. Sin embargo el Reporte de Energías Renovables de la REN21 del 2016¹², establece que actualmente el 17% de la población mundial subsiste sin electricidad, es decir aproximadamente mil doscientos millones de personas, la falta de acceso a la energía eléctrica se relaciona directamente con el índice de pobreza en el mundo y la calidad de vida de las personas (según reporte 2014 del índice de pobreza del Banco Mundial)¹³.

A nivel de mundial, China es líder en iniciativas de proyectos de generación de energía hidroeléctrica, bioenergía, electricidad y calor, así como vehículos eléctricos. Gracias a los cambios realizados en sus políticas y un plan de desarrollo con proyección a 2022, ha logrado reducir la emisión de gases contaminantes y se ha convertido en el representante de la mitad de la demanda mundial de energía solar¹⁴.

En Latinoamérica, Brasil presentó un incremento de 32 GW entre el año 2011 y 2016, pero la AIE pronostica un aumento muy pequeño en el uso de solar FV para el año 2022, sin embargo el país ha hecho un esfuerzo importante para fortalecer la producción y propiciar el uso de biocombustibles, siendo el segundo país con mayor producción de biodiesel a nivel mundial¹⁵. De otra parte, para finales del 2016, Uruguay logró la meta del 98% de energía generada mediante fuentes renovables, de los cuales el 50% corresponde a centrales hidroeléctricas, el 40% corresponde a fuentes basadas en energía eólica/solar, y el 8% corresponde a generación de

¹² Energías Renovables 2016 Reporte de la situación mundial, REN 21 Renewable Energy Policy Network for the 21st Century, 2017.

¹³ Banco mundial: Acceso a la electricidad (% de la población) [En línea]. Available <https://datos.bancomundial.org/indicador/EG.ELC.ACCS.ZS?end=2014&locations=CO&start=1990&view=chart> [Último acceso: 06 de noviembre de 2017].

¹⁴ Agencia Internacional de Energía, Publicación Renovables 2017 [En línea]. Available <http://www.iea.org/renewables/#section-1-2> [Último acceso: 01 de noviembre de 2017].

¹⁵ REN21 Renewable Energy Policy Network for the 21st Century, Energías Renovables 2017 Avanzando en la transición mundial hacia la energía renovable 2017.

energía mediante biomasa. La iniciativa de gobierno involucró un gran esfuerzo económico y logístico desde el 2008, cuyo resultado permitió para enero del 2015 disponer de una demanda instalada de 718.6 MW provenientes de energía eólica mediante al menos 500 aerogeneradores con una inversión estimada de 2000 millones de dólares. La meta propuesta comprende lograr un suministro del 30% de las necesidades energéticas del país con este tipo de energía, en contraste con países abanderados de la misma iniciativa como Dinamarca, España y Alemania, la demanda de energía se satisface mediante este mismo tipo de fuente en el 20%, 14% y 12% respectivamente.¹⁶

Con respecto a las políticas gubernamentales desarrolladas para el uso de fuentes no convencionales de energía eléctrica, varios países como Alemania, Austria, Bélgica, Dinamarca, España, Francia, Holanda, Italia, Noruega, Reino Unido y Suecia, además de Brasil, Chile, Estados Unidos y Colombia en América, han dictaminado leyes y regulaciones que permiten la integración de tecnologías para aprovechar las fuentes no convencionales y de energías renovables en diversos campos de acción mediante el uso de nuevas tecnología de transporte y generación de energía así como iniciativas de empoderamiento energético¹⁷.

En Colombia actualmente se cuenta con las unidades administrativas especiales: La Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG), la Unidad de Información Minero Energética (UIME) y la Comisión de Planeación Minero Energética (UPME). La CREG ha expedido más de cien (100) actos administrativos entre decretos, resoluciones y leyes de regulación del sector eléctrico, incluyendo regulaciones para la integración de energías no convencionales al sistema energético nacional ¹⁸

¹⁶ Agencia Internacional de Energía [En línea]. Available <http://www.iea.org/> [Último acceso: 01 de noviembre de 2017].

¹⁷ EMPOWERING customers to save energy by informative billing [En línea]. Available http://iee-empowering.eu/en/wp-content/uploads/2013/09/EMPOWERING_D3.2.pdf [Último acceso: 02 de noviembre de 2017].

¹⁸ Boletín Estadístico de Minas y Energía 2012 – 2016, Sistema de Información Minero Energético Colombiano SIMEC.

Aun considerando el avance de la regulación colombiana en cuanto a los incentivos arancelarios, tributarios y posteriormente los tarifarios derivados de la reglamentación de la Ley 1715 de 2014 mediante las resoluciones MME 40072 de 2018 (AMI) y CREG 030 de 2018¹⁹, es indispensable acotar algunos aspectos técnicos del RETIE para facilitar la prescripción y caracterización adecuada de las instalaciones eléctricas residenciales durante las etapas de diseño y construcción, de tal manera que permitan maximizar los beneficios del usuario final en interacción con una Red Inteligente Doméstica (RID). Lo anterior mediante los requerimientos de la infraestructura de medición avanzada (AMI)²⁰ y demás componentes topológicos y tecnológicos como la segmentación de cargas acordes con el estudio efectuado por la UPME en 2006²¹, la monitorización por circuitos ramales y las opciones de gestión energética²², la incorporación del vehículo eléctrico como carga y fuente del sistema²³, los sistemas fotovoltaicos de uso residencial y los requerimientos de comunicaciones de los dispositivos de campo como artefactos de uso doméstico, el medidor inteligente, pasarelas de comunicaciones, apagadores y tomacorrientes tele gestionadas, vehículo eléctrico, inversores y micro inversores, etc.

¹⁹ Regulación de autogeneración a pequeña escala y de generación distribuida.

²⁰ AMI: Advance Metering Infrastructure [En línea]. Available <http://www.indiasmartgrid.org/Advanced-Metering-Infrastructure.php?m=3&y=2016> [Último acceso: 02 de noviembre de 2017].

²¹ Determinación del consumo final de energía en los sectores residencial, urbana y comercial y determinación de consumos para equipos domésticos de energía eléctrica y gas. Documento presentado a la UPME por el Departamento de Física de la Facultad de Ciencias de la Universidad Nacional de Colombia en junio 11 de 2006.

²² Caracterización Tecnológica de la Topología de un Sistema de Gestión Energética Residencia. Trabajo de Grado presentado por G. Archila y W. Gómez a la Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones de la Universidad Industrial de Santander (UIS) en 2012. (Pág. 44 – 2.4.3. Componente Ontológico, a. Importancia de la monitorización desagregada del consumo.

²³ Caracterización de cargas eléctricas especiales: El Vehículo Eléctrico. Trabajo de Grado presentado por J. Niño, D. Velandia a la Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones de la Universidad Industrial de Santander (UIS) en 2014. (Pág. 106 Análisis del VE como fuente).

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GENERAL

Propuesta para documentar de los requisitos técnicos exigibles en el reglamento técnico RETIE, para las instalaciones eléctricas residenciales de los clientes regulados, con el propósito de acceder a los beneficios derivados de la reglamentación de la Ley 1715 de 2014 del MME.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Evaluar el estado de desarrollo actual de la reglamentación de los incentivos y beneficios enfocados en el cliente residencial, derivados de la aplicación de lo establecido por la Ley 1715 de 2014.

Evaluar las consideraciones técnicas planteadas en el Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas (RETIE) vigente y en estudio, para la inclusión de tecnologías para el uso de energías renovables en usuarios residenciales.

Determinar los requisitos técnicos necesarios para la implementación de una red inteligente doméstica (RID), teniendo en cuenta los factores de diseño a involucrar en instalaciones nuevas y las reformas necesarias para las instalaciones eléctricas existentes.

Documentar los componentes técnicos adicionales que se deben incluir en el RETIE para las instalaciones eléctricas residenciales donde se incorporen fuentes no convencionales de energía eléctrica, partiendo de los requisitos planteados para una RID y con el propósito de acceder a los beneficios de ley.

3. SITUACIÓN ACTUAL

La conformación del sistema eléctrico actual es el resultado de un esquema establecido con base en leyes reglamentadas en el año 1943. Esta estructura se caracteriza por la construcción de grandes plantas de generación en su mayoría hidráulicas con participación de aproximadamente 11.512 MW, plantas térmicas a carbón con una generación aproximada de 1.369 MW y plantas térmicas a gas con una generación aproximada de 1.695 MW para el año 2016 según datos obtenidos de la UPME²⁴, la generación eléctrica generalmente se ubica lejos de la demanda o el sitio donde se encuentre el recurso primario, la interconexión del sistema mediante redes de transmisión por nivel de tensión, que transportan la energía a los centros de consumo y redes de distribución que entregan energía eléctrica a los consumidores finales. En general, el sistema eléctrico colombiano lo componen agentes generadores, transmisores, distribuidores y comercializadores.

La topología vigente del sistema eléctrico colombiano está basada en leyes, resoluciones, decretos y regulaciones emitidas por el Congreso de la República, el MME y la CREG y vigiladas por la Superintendencia de Servicios Públicos.

Actualmente en Colombia existe la tendencia de incluir generación mediante fuentes no convencionales de energía eléctrica; las políticas recientes han demostrado voluntad para la inclusión de aspectos que regulen la operación y la instalación de generación distribuida con participación de generadores a pequeña escala. Los incentivos tarifarios y tributarios establecidos en la Ley 1715 de 2014 han abierto el camino para la publicación de la resolución del MME N° 40072 de enero de 2018 estableciendo mecanismos para implementar la Infraestructura de Medición Avanzada en el servicio público de energía eléctrica y la resolución CREG 030 de

²⁴ UPME [En línea] Available http://www.upme.gov.co/Boletines/Boletin_Estadistico_2012_2016.pdf [Último acceso 28 de mayo de 2018].

2018 en la cual se regulan las actividades de autogeneración a pequeña escala y de generación distribuidas en el Sistemas Interconectados Nacional.

Como resultado de los comicios electorales presidenciales en primera vuelta, celebrados el pasado 27 de mayo de 2018, la contienda electoral Colombiana se definirá el próximo 17 de junio de 2018 para el próximo período de gobierno (2018 a 2022) entre dos alternativas, la primera corresponde a un partido político con afiliación política de centro derecha y la segunda corresponde a un partido político con afiliación política de izquierda. A continuación se presentan los aspectos más relevantes involucrados en ambas propuestas de gobierno con respecto políticas, programas y proyectos que impulsen la generación energía eléctrica mediante el uso de fuentes no convencionales y el uso eficiente de la energía.

La propuesta de gobierno del partido político de centro de derecha no involucra una propuesta incluyente de estrategias concretas para incentivar el uso de energías renovables o políticas para minimizar el uso de energías convencionales en el sector transporte o eléctrico²⁵. Por el contrario el partido político de izquierda, sin incluir propuestas concretas de los mecanismos y las políticas para incentivar el uso de energías renovables, establece un ideario general para mitigar el cambio climático disminuyendo el uso de energía proveniente de recursos fósiles, fortaleciendo el sector público como agente regulador, el sector institucional como unidad investigadora y el sector económico²⁶.

En Colombia, se han desarrollado iniciativas que prometen aumentar la capacidad instalada de fuentes de energía renovable, sin embargo aún persiste la dinámica de

²⁵ Candidato presidencial Iván Duque [En línea]. Available <https://www.ivandunque.com/propuestas> [Último acceso 28 de mayo de 2018].

²⁶ Candidato presidencial Gustavo Petro [En línea]. Available <https://petro.com.co/programa/> [Último acceso 28 de mayo de 2018].

una economía arraigada en el uso de fuentes no renovables y altamente contaminantes como el petróleo y el carbón para la generación de energía. Considerando que las reservas de petróleo estimadas en Colombia a diciembre 31 de 2013, ascendían a 3.154 millones de barriles, de los cuales 2.444 millones de barriles corresponden a reservas probadas, se puede prever reservas de producción (R/P) para 6,6 años²⁷, es decir un abastecimiento asegurado hasta el año 2019. Esta situación obliga la necesidad de impulsar estrategias que promuevan la flexibilidad del sistema eléctrico colombiano para adoptar de nuevas tecnologías de producción de energía para el sector eléctrico y transporte.

Desde el 29 de abril de 2018, el país se encuentra enfrentando una crisis de carácter social, ambiental y económico causada en la hidroeléctrica de Ituango, y relacionada posiblemente a errores en el proceso de construcción. Este proyecto cuenta con una capacidad de 2.400 MW y una presa de 225 metros de altura y se encuentra localizada al noroccidente del departamento de Antioquia sobre el río Cauca aproximadamente a 170 km de la ciudad de Medellín

La emergencia inicio con deslizamientos y posterior taponamiento de los túneles de desviación causados por anomalías geológicas del sector, lo cual derivó en una cadena de decisiones para mitigar los riesgos de impacto significativo, pero que sacrificaron la capacidad operativa de la hidroeléctrica cuya puesta en operación estaba programada para el mes de noviembre de 2018. La alerta roja afectó a catorce municipios aledaños a hidroituango, miles de familias damnificadas y evacuadas, así como la afectación de los ecosistemas del sector y altas pérdidas económicas directas e indirectas.

²⁷ Plan Enegetico Nacional Colombia: Ideario 2050, Unidad de Planeación Minero Energético (UPME), 2015.

Además de los impactos inmediatos se considera la desaparición del aporte energético al sistema de interconectado nacional, al menos en el corto y mediano plazo. Situación que incrementa la vulnerabilidad del sistema eléctrico nacional ante situaciones de índole climática y contingencias que se puedan presentar en otras plantas de generación y/o el sistema de transmisión.

Colombia, debe apostar por innovaciones tecnológicas generando costos competitivos contrarrestados con la forma tradicional de obtener y usar la energía, contribuyendo a la reducción del uso de combustibles fósiles y estableciendo subsidios que superen a los aplicados al uso de combustibles fósiles. Igualmente, la incorporación de las redes inteligentes no logran su propósito únicamente mediante la instalación de medidores inteligentes “Smart Meter”, siendo este un eslabón para la conformación de la red inteligente, pero así mismo se debe impulsar la automatización de todo el sistema eléctrico, incluyendo el usuario final como ente importante en la gestión energética, ya que el uso de energías renovables va de la mano con el uso eficiente de la energía.

4. MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL

El presente capítulo contiene el resumen del estado de desarrollo del marco legal, normativo y reglamentario en el entorno mundial y el caso Colombia, en el cual se evidencien los beneficios enfocados al cliente residencial, incluye el enfoque del reglamento técnico colombiano vigente y en estudio.

Adicionalmente se incluye un resumen de la expectativa del marco de aplicación de las redes inteligentes en perspectiva de los planes, políticas, programas y proyectos definidos y sugeridos en beneficio del cliente residencial.

4.1. ENTORNO MUNDIAL

En el entorno mundial del desarrollo de energías renovables el año 2015 pasó a la historia siendo un año memorable, con la amplia incorporación de generación renovable, la disminución del uso de combustibles fósiles y el avance tecnológico en las redes inteligentes. Igualmente en el 2016, “la energía renovable aumento un estimado del 9% en comparación con el año 2015, llegando a 161 GW de generación”²⁸.

Según datos del REN21 2016, en el año 2015, ciento cuarenta y seis (146) países incluyen dentro de sus políticas, aspectos legales que apoyaban e incentivaban las energías renovables. Considerando que la legislación desarrollada se enfoca en donaciones, préstamos e incentivos para el desarrollo e implementación de proyectos renovables y la investigación de nuevas tecnologías. En el 2017, el

²⁸ REN21 Renewable Energy Policy Network for the 21st Century, Energías Renovables 2017 Avanzando en la transición mundial hacia la energía renovable 2017.

REN21 reportó que a finales del año 2016, al menos ciento treinta y siete (137) habían registrado una norma relacionada con la eficiencia energética, así mismo cincuenta y seis países adoptaron nuevos objetivos de los ya concebidos desde el 2015.

Cabe resaltar que aun con la capacidad de gestión política para implementar normativas relacionadas con eficiencia energética, los legisladores deben establecer objetivos claves para integrar la interconexión del sistema eléctrico mediante energía renovable distribuida, incluyendo en los planes de electrificación nacional, estrategias que permita desarrollar sistemas autónomos y mini redes para interconectar usuarios sin largas extensiones de redes eléctricas.

A nivel mundial China lidera la generación de energía solar fotovoltaica (FV) con aproximadamente 80 Gigawatts en el año 2016, seguido esta Japón, Alemania, Estados Unidos, Italia, Reino Unido, India, Francia, Australia y España, estos países son líderes mundiales de capacidad de energía solar FV.

Con respecto a la energía eólica, Dinamarca lidera el listado de países con el mayor porcentaje de demanda de energía eléctrica generada, obteniendo aproximadamente el 40% de su demanda eléctrica por medio de generación eólica, el listado de países lo continua, Irlanda, Portugal, Uruguay, Chipre, España, Alemania, Rumania, Suecia, Reino Unido, Lituania, Costa Rica y Austria. Al igual, que la capacidad de energía solar FV, China lidera la lista de países con mayor capacidad de energía eólica , con aproximadamente 180 Gigawatts para el año 2016, seguidamente se encuentran países como Estados Unidos, Alemania, India, España, Reino Unido, Francia, Canadá, Brasil e Italia.

En los avances de la Infraestructura para la Medición Inteligente (AMI), países como Estados Unidos, Alemania, Austria, España, Francia, Noruega, Bélgica y Holanda han demostrado programas, políticas y proyectos que permiten el uso de tecnologías para la monitorización de la demanda por parte de los usuarios. En

Estados Unidos la iniciativa Green Button proporciona a los clientes de servicios públicos un acceso fácil y seguro de su información sobre el uso de energía (EUI) o consumo de energía, en formatos resumidos de entendibles para el consumidor y con aplicaciones para dispositivos móviles. En Alemania se desarrolla el proyecto Smart Watts, el cual tiene como objetivo de desarrollar estrategias para crear rutas con mayor utilidad y eficiencia a los agentes del sistema eléctrico.

Implantaciones de ciudades inteligentes “Smart City” se desarrollan en países como Estado Unidos, Austria, Francia y Holanda, las cuales ha obtenido grandes resultados en el uso eficiente de energías renovables y micro redes. Se destacan en Europa ciudades como Viena, Graz y Salzburgo, en las cuales se desarrollan trabajos conjuntos entre empresas, administraciones y ciudadano para contribuir en la constitución de una “Smart Grids”.

Los esfuerzos alcanzados a nivel mundial avanzan pero no de la manera más rápida para cumplir los límites de reducción de las emisiones de carbono establecidos en el Acuerdo de París adoptado en diciembre 2015. Los avances obtenidos es el reflejo de una integración entre política, empresa pública, empresa privada, inversionistas, industria y comunidades, de esta manera los países comprometidos con la disminución de las emisiones de carbono, son conscientes y se evidencia con la integración de políticas y marcos regulatorios estables, que los sistemas eléctricos deben tener mayor flexibilidad, los cuales aseguren la inclusión de generación de energía renovable no convencional, propiciando campos de acción que beneficien al país económicamente e incentiven al usuario al uso eficiente de la generación renovable.

4.2. ENTORNO COLOMBIANO

En la modificación de la constitución política de 1991, Colombia incluyó como principio clave la prestación eficiente de los servicios públicos básicos para la

población, igualmente, estableció los parámetros de competencia para posibilitar la entrada de empresas externas privadas en el mercado de los servicios públicos, además planificó los recursos naturales del país en la generación energética, contemplando un manejo adecuado, garantizando el desarrollo sostenible.

Posterior a la reglamentación de estas leyes, Colombia ha ido avanzando en la reglamentación del sector energético en el país, evaluando las necesidades actuales del mercado y considerando la participación de consumidores y productores en las diferentes fases de desarrollo del sector eléctrico y de gas. Adicionalmente, a la creación de políticas energéticas, Colombia ha creado planes, programas y proyectos los cuales enlazan las políticas creadas encaminadas al cumplimiento de las metas establecidas en los planes, los cuales tienen como propósito de fomentar el uso de optimización de los recursos y la eficiencia de las redes inteligentes.

En Colombia el plan de desarrollo creado por el gobierno nacional tiene sustentación con políticas, programas y proyectos, los cuales van encaminados al cumplimiento de los propósitos establecidos en el plan de desarrollo, estos aspectos son básicos para el éxito de la gestión administrativa.

4.2.1. Planes. El plan energético actual en Colombia se ha establecido con el propósito de impulsar las líneas de acción energéticas, incluyendo todos los recursos energéticos utilizados en Colombia hasta el momento y exponiendo mecanismos para gestionar el consumo de energía eléctrica. Adicional el plan propuesto, incluye objetivos para desarrollar estrategias de consumo energético a corto y largo plazo y el impacto económico y ambiental del uso de combustibles fósiles.

4.2.1.1. Plan Energético Nacional (PEN) Colombia: Ideario Energético 2050. El Plan Energético Nacional, tiene como objetivo suministro confiable y diversificación de la canasta de energéticos, demanda eficiente de energía, esquemas que promuevan la universalización y asequibilidad al servicio de energía eléctrica, estimular las inversiones en interconexiones internacionales y en infraestructura para la comercialización de recursos estratégicos, mantener los ingresos y viabilizar la transformación productiva y generación de valor, vincular la información para la toma de decisiones y contar con el conocimiento, la innovación y el capital humano para el desarrollo del sector y consolidar la institucionalidad y avanzar en mayor eficiencia del estado y la regulación

El Ideario Energético 2050, tiene como principal impacto en la aplicación e interés de áreas de: cambio climático, ciudades inteligentes, eficiencia energética y renovable, energías renovables, energía sostenible, medidores bidireccionales, AMI, redes inteligentes y sostenibilidad.

4.2.1.2. Plan Smart Grids Colombia Visión 2030. El plan Smart Grids, reúne los objetivos planteados en el PENC Ideario Energético y los objetivos Colombia Inteligente, los retos y objetivos para el sector energético se correlaciona con las estrategias planteadas en el plan de Colombia Inteligente.

El plan Smart Grids comprende las estrategias:

- Un país formal / Acceso universal.
- Un país productivo y eficiente / Seguridad y calidad.
- Un país competitivo / Competitividad.
- Un país eficiente / Sostenibilidad.

Para el cumplimiento de estas estrategias, las Redes Inteligentes (RI) deben estar apoyadas en el establecimiento del marco legal, el cual debe incluir dentro de su reglamentación temas como: Infraestructura de Medición Avanzada (AMI), automatización de la red de distribución, recursos distribuidos y vehículos eléctricos.

La anterior inclusión en el marco legal, corresponde a la funcionalidad que puede brindar las RI al sistema eléctrico, las cuales deben estar reglamentadas legal y técnicamente.

El plan establece el objetivo específico con mayor contribución al objetivo global el cual es: “Calidad de la electricidad con una confiabilidad acorde con las necesidades de la sociedad del siglo XXI”²⁹.

4.2.2. Políticas. Las leyes, resoluciones, decretos y reglamentos son de obligatorio cumplimiento en el territorio nacional; para el desarrollo de los objetivos del trabajo es importante conocer la fundamentación legal establecida para el sector eléctrico y la implementación de las fuentes no convencionales de energía, la generación distribuida y sistemas para el uso racional y eficiente de energía. A continuación se resumen la reglamentación expedida a la fecha, incluyendo la reglamentación expedida que fomenta el uso de FNCE.

4.2.2.1. Ley 142 de 1994. Mediante esta ley se define el régimen de prestación de los servicios públicos domiciliarios, entre los que se incluyen: acueducto, alcantarillado, aseo, energía eléctrica, telefonía pública conmutada, telefonía móvil, rural y distribución de gas combustible. Algunos aportes de esta ley son:

- La participación del estado como ente regulador del servicio (artículo 01), vigilando permanentemente a los entes que intervienen en la prestación del servicio.
- Asignación de competencias y responsabilidades a los municipios, departamentos y nación, siendo estos responsables de la planificar, apoyar financieramente y gestionar los servicios públicos para la población.

²⁹ Unidad de Planeación Minero Energética (UPME)
http://www.upme.gov.co/Estudios/2016/SmartGrids2030/1_Parte1_Proyecto_BID_Smart_Grids.pdf.

- La inclusión de empresas privadas, públicas o mixtas en la prestación de los servicios públicos, siendo las entidades públicas, nacionales, departamentales y municipales las encargadas de vigilar y velar por la prestación eficiente de los servicios. Apertura del mercado para la intervención de otros agentes (empresas).
- Se establecen los principios principales del régimen tarifario de las empresas de servicios públicos (capítulo I).
- Para la transmisión y distribución de energía eléctrica las empresas deben facilitar la interconexión, es decir las empresas dueñas de la infraestructura eléctrica de transmisión y distribución deben permitir la conexión de otras empresas eléctricas y de usuarios si lo solicitan y con derecho a percibir el pago de las retribuciones por el préstamo de su infraestructura.

4.2.2.2. Ley 143, julio 11 de 1994. La ley 143. Enfocada en el sector eléctrico mediante el cual establece el régimen de las actividades de generación, interconexión, transmisión, distribución y comercialización de electricidad, y el régimen de las actividades del sector eléctrico con base en las funciones legales del Ministerio de Minas y Energía (MME).

El Ministerio de Minas y Energía, debe planear, coordinar y seguir todas las actividades del sector eléctrico, siendo el principal ente de control del servicio público. Además deberá velar por el aprovechamiento económico de los recursos naturales dentro de un manejo integral eficiente, incluyendo fuentes de generación convencionales y no convencionales.

El estado debe promover la libre participación, competencia y la no monopolización del servicio, adicional garantizar la cobertura del servicio de electricidad en las regiones del país.

Artículo 6.: “Las actividades relacionadas con el servicio de electricidad se regirán por principios de eficiencia, calidad, continuidad, adaptabilidad, neutralidad, solidaridad y equidad”.

Capítulo III. Se establece la Unidad de Planeación Minero-Energética (UPME) conforme al decreto 2119 de 1992, estableciendo funciones y manejo de recursos propios de esta unidad:

- El presupuesto establecido por la Unidad de Planeación Minero-Energética para la expansión del sistema eléctrico, será asumido en partes iguales por empresas públicas de la época.
- Elaborar y actualizar el Plan Energético Nacional y, el Plan de Expansión del sector eléctrico en concordancia con el Proyecto del Plan Nacional de Desarrollo.
- Realizar diagnósticos que permitan la formulación de planes y programas del sector energético.
- Establecer prioritariamente un programa de ahorro y optimización de energía.

Capítulo IV. Se establece la Comisión de Energía y Gas (CREG) conforme al decreto 2119 de 1992, incluida como unidad administrativa del MME, estableciendo funciones y manejo de recursos propios de esta comisión.

4.2.2.3. Ley 697 octubre 3 de 2001. Mediante la cual se fomenta el uso racional y eficiente de la energía, se promueve la utilización de energías alternativas. Delegando la responsabilidad al MME para el cumplimiento de lo dispuesto en esta Ley. Mediante el MME se inicia la creación del Programa de Uso Racional y Eficiente de la Energía y demás no convencionales (PROURE), este programa pretende cumplir con los niveles mínimos de eficiencia energética.

En esta ley se incluyen estímulos a las entidades o agentes que apliquen el Uso Racional de la Energía (URE) y se promociona el uso de Fuentes No Convencionales (FNC) de energía y el apoyo a las empresas que diseñen, produzcan o importen tecnologías para el uso de FNC.

4.2.2.4. Decreto 2331 del 22 de junio de 2007. Este decreto tiene como objetivo la utilización o sustitución en los todos los edificios donde funcionen entidades oficiales, de todas las bombillas incandescentes por ahorradoras específicamente por Lámparas Fluorescentes Compactas (LFC) de alta eficiencia. También se determina que todos los edificios nuevos o reformas deben diseñarse con la tecnología de LFC.

4.2.2.5. Decreto 3450 del 12 de septiembre de 2008. “Se dictan medidas tendientes al uso racional y eficiente de la energía eléctrica”. Todos los usuarios del servicio de energía eléctrica sustituirán todas las fuentes de iluminación de baja eficiencia lumínica por fuentes de iluminación de mayor eficiencia lumínica disponible en el mercado. Adicionalmente, establece que el MME determinará los requisitos mínimos de eficiencia, vida útil y demás consideraciones técnicas, será el encargado de realizar seguimiento y control y de los planes de recolección y disposición final de los productos sustituidos.

4.2.2.6. Resolución 180919 del 01 de junio de 2010 (Plan de Acción Indicativo del PROURE). Mediante esta resolución el Ministerio de Minas y Energía adopta el plan de acción Indicativo 2010 – 2015 para desarrollar el PROURE, para implementar y promover el Programa de Uso Racional y Eficiente de la Energía y demás formas de Energía No Convencionales, con el propósito de contribuir al desarrollo sostenible y la conservación de los recursos naturales.

4.2.2.7. Propuesta de resolución 032 del 25 de junio de 2012. Se establecen la propuesta de regulación de calidad de la potencia eléctrica en el sistema interconectado nacional, adiciona establece el sistema de medición y el registro de la calidad de la potencia, el reporte de información y los instrumentos regulatorios.

4.2.2.8. Ley 1665 del 16 de julio de 2013. “Por medio de la cual se aprueba el “Estatuto de la Agencia Internacional de Energías Renovables (IRENA)”, hecho en Bonn, Alemania, el 26 de enero de 2009”. Esta Ley desea promover la implantación y el uso generalizado y reforzado de las energías renovables con objeto de lograr un desarrollo sostenible y la utilización eficiente de los recursos naturales.

4.2.2.9. Ley 1715 del 13 de mayo de 2014. “Por medio de la cual se regula la integración de las energías renovables no convencionales al sistema energético nacional”. En la Ley 1715 de 2014, el gobierno estableció los principios básicos de responsabilidades, ordenando a entes los gubernamentales y regulatorios como, UPME y la CREG a que establezcan los requisitos y/o parámetros legales, técnicos, normativos y regulatorios para incentivar la inversión y la incorporación de generación de energía eléctrica por medio de fuentes no convencionales de energía renovable. Algunos aspectos importantes de esta Ley son:

- Establece el marco legal para el aprovechamiento de incentivos resultantes del uso de fuentes de energía no convencionales.
- Establece los incentivos para el fomento a la investigación de proyectos de investigación de proyectos de fuentes no convencionales de energía.
- Define como un incentivo tributario el excluir del Impuesto al Valor Agregado (IVA) a todos los equipos, maquinaria, elementos y servicios nacionales o importados que tengan como finalidad su utilización en obtención de energía a partir de fuentes no convencionales serán excluidos del IVA.

- La UPME será la encargada de catalogar cuales equipos y servicios serán excluidos del IVA.
- Define como incentivos arancelarios, la exclusión del pago de los Derechos Arancelarios de Importación a maquinaria, equipos, materiales e insumos destinados a proyectos de fuentes no convencionales de energía eléctrica.
- El beneficio arancelario será aplicable únicamente a la maquinaria, equipos, materiales e insumos que no sean producidos a nivel nacional.
- La Dirección de Impuestos y Aduanas Nacionales (DIAN) debe expedir un documento de aprobación, con previa certificación del Ministerio de Minas y Energía, documento que debe ser solicitado por la persona natural o jurídica que decida importar maquinaria, equipos, materiales e insumos, con un plazo mínimo de 15 días hábiles antes de su importación.
- Define el incentivo de depreciación acelerada de activos, la cual será aplicable a maquinaria, equipos y obras civiles necesarias para la operación de FNC.
- La tasa de depreciación será no mayor al 20% anual. La tasa puede variar dependiendo de autorización de ley de porcentajes mayores y previo aviso a la DIAN.
- Estable que el gobierno nacional debe fomentar la energía solar para el desarrollo de proyectos de urbanización municipal o distrital, en edificaciones oficiales, en los sectores industrial, residencial y comercial.
- El gobierno Nacional y el MME deben establecer la reglamentación técnica para la implementación de energía solar como fuente de generación distribuida, estableciendo mecanismos de entrega de excedentes y normatividad de seguridad en la instalación de equipos y redes.
- El Ministerio de Ambiente debe establecer los parámetros ambientales que deben cumplir los proyectos desarrollados con energía solar.

- Se establece el estudio y análisis para el desarrollo de Fuentes No Convencionales de Energía Renovable (FNCER) como: Energía eólica, Energía geotérmica y Energía de los mares.
- Los pequeños aprovechamientos hidroeléctricos son considerados como FCNER con previa autorización del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.
- El gobierno Nacional debe capacitar y formar al recurso humano necesario para el desarrollo e implementación de proyectos FCNER.
- El gobierno nacional en base al plan PROURE deberá desarrollar un plan indicativo para su desarrollo, reglamentación técnica e información que permita al consumidor revisar la eficiencia energética los productos manufacturados y campañas de información.
- Por medio de los indicativos del plan PROURE el gobierno nacional deberá promocionar la eficiencia energética.
- El MME promoverá el desarrollo de FNCE y la gestión eficiente de la energía en las zonas no interconectadas del sistema colombiano.
- Se apoyarán iniciativas que mejoren las Zonas No Interconectadas (ZNI) con financiamientos con cargo al fondo FENOGE.

4.2.2.10. Resolución UPME 281 del 06 de junio de 2015. Por medio de la cual la UPME define el límite máximo de potencia de generación a pequeña escala, correspondiente a 1 MW de potencia de generación del autogenerador.

4.2.2.11. Resolución CREG 029 del 7 de marzo de 2016. Esta resolución se define un esquema de tarifas diferenciales que deberán aplicar las comercializadoras a sus usuarios regulados del Sistema Nacional Interconectado (SIN) para promover el ahorro de energía.

4.2.2.12. Resolución MME 039 del 15 de marzo de 2016. En esta resolución, se modifica el artículo 2 de la resolución 029, en la cual se aplica la tarifa diferencial de acuerdo a las fórmulas dictadas por el ministerio de minas y energía.

4.2.2.13. Norma NTC-ISO 50001 Sistemas de Gestión de la Energía. Esta norma brinda una metodología para establecer sistemas y procesos para mejorar su eficiencia energética, es decir disminuir el consumo de energía eléctrica y de esta manera reducir la emisión de gases de invernadero.

Esta norma es de carácter internacional y se basa en el ciclo de mejora continua Planificar – Hacer – Verificar – Actuar (PHVA).

En Colombia, se han realizado diversos cursos o programas de divulgación de la misma a nivel nacional, y puede afirmarse que Colombia apenas está en la etapa de conocimiento y divulgación de la norma, realizando diversas capacitaciones sobre el tema.

4.2.2.14. Resolución 243 del 19 de diciembre de 2016. Por medio de esta resolución se define la metodología para determinar la energía firme para el cargo por confiabilidad, otros aspectos importantes que determina esta resolución son:

- Crear las condiciones para el aseguramiento de la oferta energética solar
- Valorar la capacidad energética solar
- Definir y hacer operativos los criterios técnicos de calidad, confiabilidad y seguridad del servicio de energía

- Establecer el cálculo del cargo por confiabilidad para plantas de energía solar.

4.2.2.15. Resolución UPME 41286 del 30 de diciembre de 2016 (Plan de Acción Indicativo 2017 -2022 PROURE). Resolución por la cual se adopta el Plan de Acción Indicativo (PAI) 2017- 2022 PROURE elaborado por la UPME, este PAI tiene como objetivo principal “Definir las acciones estrategias y sectoriales que permitan alcanzar las metas en materia de eficiencia energética” [23] para los años comprendidos entre el 2017 al 2022.

4.2.2.16. Decreto 348 del 01 de marzo de 2017. Este decreto adiciona lineamientos a la política pública de gestión eficiente de energía y entrega excedentes de autogeneración a pequeña escala, algunos aspectos importantes de este decreto son:

- Establece los parámetros que deberá cumplir el autogenerador a pequeña escala
- El mecanismo de los excedentes de autogeneración a pequeña escala que utilicen fuentes no convencionales de energía renovable FNCER, los excedentes que entreguen a la red de distribución se reconocerán mediante un esquema de medición bidireccional, como créditos de energía.
- Establece las condiciones para la conexión y entrega de excedentes de autogeneradores a pequeña escala.
- Define a la CREG como el organismo regulador que establecerá la tarifa de la remuneración para los excedentes de la autogeneración a pequeña escala los excedentes se reconocerán mediante un esquema de medición bidireccional.

4.2.2.17. Resolución CREG 121 del 28 de agosto de 2017 - Derogada por la resolución CREG 030 de 2018. En esta resolución “se regulan las actividades de autogeneración a pequeña escala y de generación distribuida en el sistema interconectado nacional”.

- Se regulan las actividades de autogeneración a pequeña escala y de generación distribuida en el sistema interconectado nacional.
- El límite de potencia máximo para que un autogenerador sea considerado como de pequeña escala, definido en la resolución UPME 281 de 2015, es igual a 1 MW.
- Define como un crédito de energía "la cantidad de energía exportada a la red por un autogenerador FNCER que se permuta contra la importación de energía que éste realice durante un periodo de facturación”.
- Presenta el concepto de Generador distribuido como "Persona natural o jurídica que genera energía eléctrica cerca de los centros de consumo, y está conectado al Sistema de Distribución Local y con potencia instalada menor o igual a 0,1 MW".
- Antes de realizar la solicitud de conexión de "un generador distribuido o un autogenerador a pequeña escala a un sistema de distribución local en los niveles de tensión 3, 2 o 1; el solicitante deberá verificar en la página web del OR que la red a la cual desea conectarse tenga disponibilidad para ello y cumpla con los requisitos establecidos en el artículo 5".
- Cada OR deberá disponer, en su página web, un sistema de información georreferenciado que permita a un potencial autogenerador a pequeña escala o generador distribuido observar el estado de la red y las características técnicas básicas del punto de conexión deseado.
- "Cualquier usuario que se encuentre conectado a la red y que quiera convertirse en un autogenerador de energía a pequeña escala y entregar

excedentes de energía a la red, lo podrá hacer una vez cumpla con los requisitos establecidos en la presente resolución y se verifique la disponibilidad técnica del sistema al cual se va a conectar según los estándares definidos en el Artículo 5".

- Establece un procedimiento simplificado para la conexión al STR o SDL de generadores distribuidos, de autogeneradores a pequeña escala con potencia instalada menor o igual a 0,1 MW, mayor a 0,1 MW y menor o igual a 1 MW, mayor a 1 MW y menor o igual a 5 MW, especificando las responsabilidades del OR ante estas solicitudes.
- Se muestran condiciones para los sistemas de medida de los autogeneradores a pequeña escala y generadores distribuidos haciendo una clasificación de la potencia en cada caso y teniendo en cuenta los requisitos del código de medida CREG 038-2014.
- Instaura alternativas de comercialización de la Generación Distribuida (GD) y de entrega de los excedentes de autogeneración a pequeña escala.

4.2.2.18. Decreto 1543 del 16 de septiembre de 2017. Mediante este decreto se reglamenta el Fondo de Energías No Convencionales y Gestión Eficiente de la Energía (FENOGE), estas son algunas consideraciones importantes del decreto:

- Establece los reglamentos y parámetros por los cuales se establece el fondo para el financiamiento de proyectos de URE y uso de energías no convencionales.
- Establece que el fondo será financiado del fondo de apoyo financiero para la energización de ZIN.

4.2.2.19. Resolución MME N° 40072 del 29 de enero de 2018. Resolución por la cual el MME, establece los lineamientos de política energética en materia de sistemas de medición avanzada (AMI), así como el tiempo de su puesta en funcionamiento.

Artículo 4° Se mencionan los objetivos fundamentales para la implementación de la AMI.

Artículo 5° Se establecen las funcionalidades básicas de la AMI.

- Almacenamiento
- Comunicación bidireccional
- Ciberseguridad
- Sincronización
- Actualización y configuración
- Lectura
- Medición horaria
- Conexión, desconexión y limitación
- Anti-fraudes
- Calidad del servicio
- Prepago

Artículo 6° Se establecen los organismos responsables encargados de emitir las condiciones para la implementación de AMI.

Artículo 7° Establece los agentes responsables.

Artículo 8° Establece el tiempo y el porcentaje de usuarios que deben estar conectados al sistema del Operador de Red (OR) con AMI en el SIN.

Artículo 9° Se establecen los organismos responsables encargados de ajustar las regulaciones para remunerar mediante la tarifa del servicio de energía eléctrica.

Artículo 10° El MME realizará los ajustes técnicos a la reglamentación técnica vigente, para la implementación de AMI.

Artículo 11° La CREG establecerá las condiciones de interoperabilidad de AMI.

Artículo 12° La CREG establecerá los requisitos para el manejo de la información.

Artículo 13° Seguimiento e implementación de la AMI.

Artículo 14° Vigencia.

4.2.2.20. Resolución CREG 015 del 29 de enero de 2018. Resolución “Por la cual se establece la metodología para la remuneración de la actividad de distribución de energía eléctrica en el Sistema Interconectado Nacional”.

Esta resolución tiene como objeto mediante esta resolución se adopta la metodología, fórmulas tarifarias para la remuneración de la actividad de distribución de energía eléctrica del SIN.

Artículo 15°- Se establecen los cargos de capacidad de respaldo de la red, los usuarios del STR o SDL podrán solicitar al OR, o al comercializador, la suscripción de un contrato de disponibilidad de capacidad de la red.

Artículo 25°- Estable la CREG será el encargado de estipular las condiciones para la implementación del AMI, incluyen los agentes responsables de su instalación, administración, operación, mantenimiento y reposición. Asimismo, la CREG deberá los ajustes regulatorios para la remuneración mediante la tarifa del servicio eléctrico las inversiones y funcionamiento de la AMI.

4.2.2.21. Resolución CREG 030 del 26 de febrero de 2018. Resolución por la cual se regulan las actividades de autogeneración a pequeña escala y de generación distribuida en el Sistema Interconectado Nacional.

Esta resolución tiene como objeto regular aspectos operativos y comerciales para permitir la integración de la autogeneración

4.2.3. Normas y reglamentos técnicos vigentes. En Colombia los responsables políticos están reconociendo la importancia de la conciencia en el consumo de energía y nuevas tecnologías en el sector eléctrico, así mismo la necesidad de evaluar los requisitos técnicos existentes en la implementación de FNC. El éxito de una política energética encaminada al Uso Racional de la Energía, la optimización de los recursos, la inclusión activa del usuario en la demanda diaria, depende de las exigencias técnicas realizadas por los entes de control y regulación, es decir, es necesaria una mayor flexibilidad de la demanda eléctrica y requisitos técnicos mínimos exigidos para la construcción de instalaciones eléctricas residenciales que permite a los usuarios integrar tecnologías ecológicas, como la solar, eólica y demás fuentes de energía distribuida en la red. Actualmente se encuentran vigentes los siguientes reglamentos y normas técnicas:

4.2.3.1. Norma Técnica Colombiana NTC 2050 Código Eléctrico Colombiano. Esta norma técnica ³⁰ tiene como objeto es la salvaguardia de las personas y de los bienes contra los riesgos que pueden surgir por el uso de la electricidad.

Contiene disposiciones que se consideran necesarias para la seguridad. El cumplimiento de las mismas y el mantenimiento adecuado darán lugar a una instalación prácticamente libre de riesgos, pero no necesariamente eficiente, conveniente o adecuada para el buen servicio o para ampliaciones futuras en el uso de la electricidad.

³⁰ Norma Técnica Colombiana 2050 (NTC 2050) "Código Eléctrico Colombiano.

4.2.3.2. Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público RETILAP del 30 de marzo de 2010. Este Reglamento Técnico³¹ tiene por objeto fundamental establecer los requisitos y medidas que deben cumplir los sistemas de iluminación y alumbrado público, tendientes a garantizar: los niveles y calidades de la energía lumínica requerida en la actividad visual, la seguridad en el abastecimiento energético, la protección del consumidor y la preservación del medio ambiente; previniendo, minimizando o eliminando los riesgos originados, por la instalación y uso de sistemas de iluminación.

4.2.3.3. Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas RETIE del 30 de agosto de 2013. Se establecen los requisitos que garanticen los objetivos legítimos de protección contra los riesgos de origen eléctrico³², para esto se han recopilado los preceptos esenciales que definen el ámbito de aplicación y las características básicas de las instalaciones eléctricas y algunos requisitos que pueden incidir en las relaciones entre las personas que interactúan con las instalaciones eléctricas o el servicio y los usuarios de la electricidad.

4.2.4. Programas. Es el conjunto de proyectos encaminados a cumplir con las necesidades específicas y previamente identificadas de una población o comunidad.

Los programas creados tienen como objetivo planear, coordinar y suministrar información de requerimientos necesarios para el cumplimiento del plan de desarrollo nacional.

³¹ El Congreso de Colombia, Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público RETILAP, Resolución 180540 de marzo 30 de 2010 del Ministerio de Minas y Energía "Ministerio de Minas y Energía, 2010.

³² El Congreso de Colombia, Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas RETIE, Resolución 90708 de agosto 30 de 2013 del Ministerio de Minas y Energía "Ministerio de Minas y Energía, vol. 2013 No Noviembre 06, 8-16, 2013.

4.2.4.1. Colombia Inteligente 2010- 2020. Tiene como objetivo, planear, coordinar y suministrar información de valor agregado para la operación de sistemas bajo criterios de eficiencia, sostenibilidad y medio ambiente que operan en red mediante herramientas de supervisión en tiempo real, simulación y optimización. Entre las necesidades identificadas se establecen las siguientes características de ejecución:

- Fomentar la creación de capacidades y conocimiento para el desarrollo de las redes inteligentes.
- Promover la política, la regulación y la estandarización para la implantación de las redes inteligentes.
- Propiciar las alianzas estratégicas con otros sectores de la economía e identificar fuentes de financiación para el desarrollo de iniciativas, pilotos y proyectos de redes inteligentes.
- Impulsar la investigación, desarrollo e innovación y gestión de conocimiento de redes inteligentes en forma sinérgica y colaborativa.

El programa Colombia Inteligente vincula las siguientes áreas de Desarrollo sostenible, Energía Sostenible, redes inteligentes, sostenibilidad ambiental.

En la figura 1. Se muestra el resumen de los planes y políticas de Colombia para la inclusión de generación distribuida, uso racional de la energía y sistemas de generación por fuentes no convencionales.

Figura 1. Resumen de normativa Colombiana.



5. REGLAMENTACIÓN VIGENTE Y EN ESTUDIO

En este capítulo se evalúan las consideraciones técnicas exigidas por el RETIE vigente y en estudio, con respecto al uso de energías renovables en instalaciones residenciales, teniendo en cuenta los requisitos mínimos de:

1. Alimentadores de baja tensión
2. Topología de circuitos ramales.
3. Requisitos de áreas y corredores técnicos.
4. Requisitos de gabinetes eléctricos o tableros de distribución.
5. Sistemas fotovoltaicos.
6. Inversores de conexión "Grid Tied".
7. Incorporación del vehículo eléctrico en el sistema residencial.
8. Supresores de transientes.

La evaluación de la reglamentación vigente, involucra algunos componentes técnicos necesarios para la incorporación de cargadores de baterías para vehículos eléctricos y sistemas fotovoltaicos en ámbitos residenciales, requerimientos que se encuentran consignados como requisitos de productos el anexo A del presente documento.

Con respecto a la topología y los ambientes técnicos necesarios para la incorporación de energías renovables y redes inteligentes en las instalaciones eléctricas residenciales, se evidencia y se justifica posteriormente la necesidad de involucrar requisitos adicionales que configuren el escenario técnico mínimo para este tipo de construcciones y sistemas eléctricos en general. De manera esencial se debe involucrar adicionalmente.

Posteriormente se proponen aspectos técnicos complementarios a lo planteado en el RETIE en estudio³³, cuya propuesta de modificación incorpora aspectos relacionados a la incorporación de fuentes no convencionales, los aspectos legales para su funcionamiento, las características técnicas mínimas para su implementación y los requerimientos de productos instalados (Anexo N° B). Adicionalmente se evalúa el componente técnico incluido en el RETIE vigente y en estudio, conforme al alcance de la presente monografía.

5.1. RETIE VERSIÓN 2013

De la revisión al RETIE vigente se concluye que, las inclusiones técnicas corresponden a aspectos técnicos que no involucran el dimensionamiento de condiciones de infraestructura eléctrica para involucrar un sistema de energías renovables a usuarios residenciales, se mencionan requerimientos de productos y se solicitan certificados de conformidad de los fabricantes. No se involucran características constructivas que propicien facilidad a los usuarios que pretendan aplicar a la reglamentación de la Ley 1715 de 2014.

Bajo este criterio el RETIE exige, mediante la NTC 2050 sección 690, que se involucren requerimientos de instalación del sistema solar fotovoltaico, mas no, involucra aspectos referentes a condiciones técnicas al interior de la unidad residencial, no se incluyen necesidades de espacios técnicos, requisitos de gabinetes de distribución, requisitos de segmentación de cargas.

Se continúa con la ejecución de los diseños de instalaciones eléctricas basados en la distribución de los circuitos de la vivienda, acometidas eléctricas y tableros de distribución según la sección 210 de la NTC 2050 y la normativa del operador de red, segmentando al usuario residencial por su estratificación.

³³ Ministerio de Minas y Energía [En línea] Available <https://www.minminas.gov.co/retie>

5.1.1. Aspectos del RETIE 2013 relacionados al objeto de estudio. En el RETIE vigente 2013, se encuentra incluido en el capítulo 3. Requisitos de Productos, lo correspondiente a cargadores eléctricos artículo 20.7 y paneles fotovoltaicos artículo 20.22.

Para el artículo 20.7, el RETIE establece una clasificación para el modo de carga de los VE, clasificación realizada en cuatro (4) modos; además se plantea un listado de requisitos dividido en requisitos de productos y requisitos de instalación:

- En los requisitos de productos se establecen requerimientos mínimos para la adquisición de un cargador de baterías para vehículos eléctricos, como tensión del sistema eléctrico colombiano, protección eléctrica y marcación o etiquetado del cargador.
- En los requisitos de instalación se establecen requerimientos básicos como: mantenimientos periódicos, disposiciones ambientales para el espacio que contendrá el cargador de batería y precauciones de conexión eléctrica, pero no requerimientos de instalación. En los requisitos de instalación no se define “precauciones” técnicamente, no establece los requisitos de instalación para usuarios residenciales como: acometidas eléctricas principales (calibres mínimos requeridos), tipo de medición eléctrica, protecciones eléctricas principales, requerimientos de gabinetes de potencia o tableros eléctricos, disponibilidad de reserva, requerimientos técnicos del punto de conexión, requerimientos técnicos del operador de red y necesidad de certificaciones legales de punto de conexión.

Para el artículo 20.22. Paneles solares fotovoltaicos, el reglamento define requerimientos de productos para instalaciones domiciliarias, requiriendo certificado de conformidad del producto emitido por un organismo acreditado internacionalmente y certificación del cumplimiento RETIE de las instalaciones eléctricas conforme se indica en la sección 690 de NTC 2050.

La NTC 2050 en la sección 690. Sistemas Solares Fotovoltaicos, establece tres (3) subcapítulos Generalidades, Requisitos de los Circuito y Medios de Desconexión. En las Generalidades, se mencionan requerimientos eléctricos de instalación en la cual se permite la conexión a un sistema FV adicional al suministro de energía de electricidad. Estos requisitos técnicos no profundizan en las todas características técnicas necesarias para la incorporación de generación por fuentes no convencionales, es decir, estos requerimientos hacen referencia a la instalación del sistema solar fotovoltaico y los componentes para su correcto funcionamiento, como conexión del inversor, conexión del cableado interno entre los módulos, protecciones de sobrecorrientes y equipos de conexión y desconexión para aislar el sistema de la red.

5.2. RETIE EN ESTUDIO

La normativa emitida este año por le MME con respecto a la resolución N° 40072 del 29 de enero y la CREG resolución N° 030 del 26 de febrero, iniciando el proceso para la incorporación de medición avanzada y criterios técnicos para la conexión a la red eléctrica de Autogenerador a Pequeña Escala (AGPE) o Generador Distribuido (GD), esta nueva normativa implica que el RETIE en estudio debe actualizarse con base en las autoridades políticas y reguladoras del sistema.

Considerando que la versión en estudio incluye más requerimientos técnicos para la instalación de AGPE o GD que la versión del RETIE 2013, sin embargo, es necesario revisar la afectación de requisitos técnicos para la participación activa del usuario y la incorporación progresiva de RI en el sistema eléctrico colombiano.

Esta versión en estudio del RETIE, no incluye la infraestructura disponible o de reserva para la implementación de una RID, no establece los parámetros técnicos para el diseño de acometidas eléctricas principales de diseño. Adicional, para la implementación de una RID, el sistema de comunicaciones es uno de los punto de

partida a considerar, por tanto, el sistema de comunicaciones debe ejecutarse con base en lo estipulado en un reglamento técnico que permita evaluar las características y parámetros de instalación de las redes de comunicación internas de una unidad familiar, lo cual no es alcance del RETIE.

5.2.1. Aspectos del RETIE relacionados al objeto de estudio. La composición del RETIE en estudio, consiste en requerimientos técnicos de instalación para AGPE o GD. De la versión vigente del RETIE se modificará el capítulo 3. “REQUISITOS DE PRODUCTOS”, con la inclusión del capítulo 3. “REQUISITOS PARA EL PROCESO DE GENERACIÓN”, en el cual se incluye la generación convencional y tradicional y la generación distribuida con fuentes no convencionales de generación.

La inclusión de generación distribuida corresponde al artículo 21° “REGLAMENTACIÓN TÉCNICA PARA GENERACIÓN CON FUENTES NO CONVENCIONALES DE ENERGÍA, GENERACIÓN DISTRIBUIDA Y ENTREGA DE EXCEDENTES DE AUTOGENERACIÓN A PEQUEÑA ESCALA EN LA RED DE DISTRIBUCIÓN”, en este artículo se incluyen los requerimientos técnicos exigibles por el RETIE conforme a la Ley 1715 de 2014.

La propuesta del RETIE, establece requisitos generales para la instalación de AGPE y GD, soportando el proyecto en estudios técnicos y ambientales, dependiendo de la tecnología diseñada para el proyecto. Se requiere entregar soportes que constante la disponibilidad del recurso ambiental en el área del proyecto. En el ítem 21.1., numeral b) “se establece que la generación se dimensione para que su potencia máxima no supere la potencia del punto de conexión”, numeral que se sugiere actualizar con la resolución CREG 030 de 2018.

Continuando con los requerimientos técnicos, en el ítem 21.2., se establecen requisitos generales para la conexión del AGPE o GD, el cual involucra los requisitos técnicos de la conexión al SDL y las solicitudes de operación mediante dispositivos

de comunicación, control y gestión para conexión al SCADA del respectivo operador de red.

Se involucra el comportamiento al SDL, es decir, se establece rangos de parámetros como: frecuencia, tensión, operación en isla, funciones de control de tensión y potencia reactiva, capacidad de reducir de inyección a la red.

Ítem 21.4. El operador de red OR, será responsable de suministrar la información de los parámetros técnicos eléctricos de la red en el punto de conexión que el usuario solicite, en vista de lo establecido, el OR deberá actualizar y adaptar los formatos de viabilidad de suministro de energía eléctrica con los propuestos por el RETIE y la normativa aplicada para sus usuarios. Igualmente, el usuario tiene la responsabilidad de suministrar al OR la información técnica mínima y suficiente para la conexión eléctrica y de comunicaciones del sistema de generación.

Ítem 21.6., establece que el generador debe demostrar la conformidad del sistema de generación del sistema conforme a lo descrito en el reglamento. Esta certificación debe ser emitida por un organismo acreditado, el certificador realizara inspección y visual y realizara pruebas para verificar las instalaciones construida, se establece un formato de pruebas.

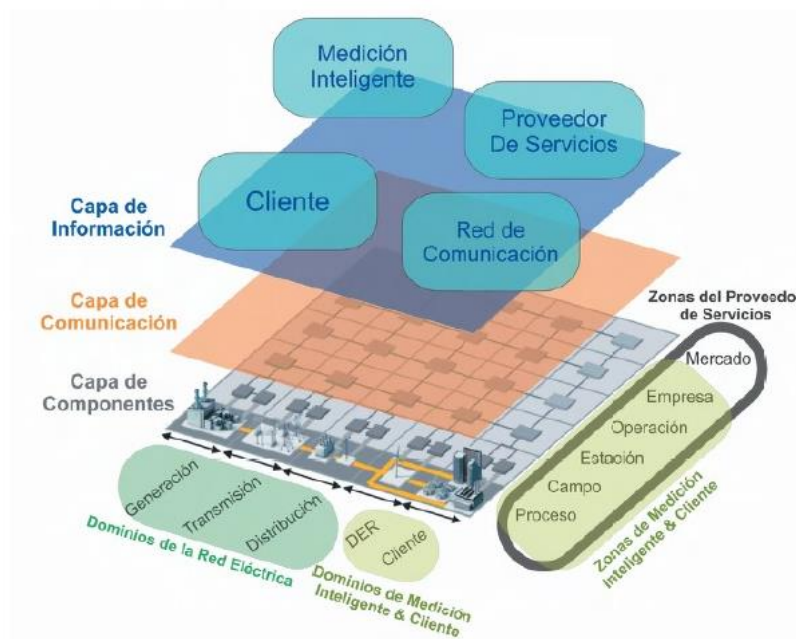
Con respecto a la instalación de paneles solares e inversores, el RETIE continua exigiendo los parámetros de instalación establecidos en la NTC 2050 Sección 690. Se añade un listado de requisitos de instalación para paneles solares fotovoltaicos que se instalen en construcciones de uso domiciliario, comercial, industrial o establecimientos público e instalaciones para conectarse a la red de distribución de uso general.

6. MODELO DE ARQUITECTURA DE RED INTELIGENTE (RI)

Los incentivos planteados en la Ley 1715 de 2014, deben estar articulados con un modelo de arquitectura que permita la comunicación y supervisión de los componentes, dispositivos o equipos del sistema, para aplicar y obtener los beneficios descritos en los programas, proyectos y políticas establecidas por el gobierno. Para realizar una propuesta de arquitectura para el sistema, se plantea el análisis de una RI bajo el modelo Smart Grid Architecture Model (SGAM), planteada en el 2011 por la Comisión Europea CEN, CENELEC y ETSI con su grupo de Coordinación de Smart Grids.

El grupo de Coordinación de Smart Grids CEN, CENELEC y ETSI, trabajo en la normalización y estandarización de un modelo de arquitectura sostenible para las RI, modelo que se muestra en la Figura 2.

Figura 2. Modelo SGAM



Fuente: [21]

- **MODELO SGAM**

Este modelo se divide en capas, las cuales representan objetivos, comunicaciones, protocolos, servicios y procesos económicos de la RI. Este modelo tiene la facilidad de contener los dominios eléctricos y las zonas de interacción (proceso, campo, estación, operación, empresa y mercado), permitiendo establecer de forma sencilla la zona del sistema que se desea modificar, igualmente, permite conocer el estado del proceso de modificación de la red convencional a una RI, y si se opta por desarrollar la modificación de la red por etapas, se puede realizar seguimiento al proceso. Este modelo aplica los principios de universalidad, localización, coherencia, flexibilidad e interoperabilidad.

El modelo SGAM se distingue dos componentes en el proceso, el sistema eléctrico y la gestión de la información (comunicaciones). Estos componentes o puntos de vista se dividen en los dominios físicos de la cadena de conversión de energía eléctrica y los niveles representan la gestión del proceso.

En la Tabla 2. Se presentan los componentes que integran un modelo de arquitectura de RI tipo SGAM para un sistema eléctrico, los componentes se agrupan en dominios y niveles según lo establecido en la figura 2.

Tabla 2. Componentes que integran una SGAM

Componente		Descripción	
Dominio	Nivel	Generación	Generación de energía eléctrica a partir de combustibles fósiles hidroeléctricas, plantas de energía nuclear, parques eólicos, plantas de energía solar fotovoltaica, usualmente conectadas al sistema de transmisión.
		Transmisión	Infraestructura y organización para transportar electricidad a amplias distancias
		Distribución	Infraestructura y organización requerida para distribuir electricidad a usuarios
		Recursos energéticos distribuidos	Recursos directamente conectados a la red de distribución pública, aplicando tecnologías para la generación de energía a pequeña escala rango de 3kW a 10 MW.
		Instalaciones para usuarios	Usuarios y productores de electricidad. Incluye instalaciones de tipo industrial, comercial y para el hogar.
Zona	Nivel	Mercado	Comercio de energía.
		Empresa	Proceso comerciales, organizacionales y de servicios e infraestructura para empresas.
		Operación	Operación de los sistemas de gestión de distribución, gestión energética, gestión de plantas virtuales, a través de la agrupación de DER y sistemas de gestión de carga para flotas de vehículos eléctricos (EV-Electric Vehicle).
		Estación	Datos de nivel campo para concentrar datos, agregar funcionalidades, automatizar,

	subestaciones, implementar sistemas locales de supervisión y realizar control y adquisición de datos (SCADA - Supervisor y Control And Data Acquisition).
Campo	Equipos para protección, control y monitoreo del nivel proceso.
Proceso	Transformación física y química de energía y de los equipos directamente involucrados.
Negocio	Marco regulatorio, estructuras económicas y políticas. Modelos de negocio, portafolio de negocios de mercados involucrados, capacidad de negocio y proyectos de negocio específico.
Función	Representa la actividad de las empresas del sistema energético.
Interoperabilidad Capa Información	Tipo de información intercambiada entre funciones, servicios y componentes, incluyendo el registro y almacenamiento de datos.
Comunicación	Protocolos y mecanismos para el intercambio de información entre componentes.
Componente	Nivel físico del sistema eléctrico que incluye dispositivos, aplicaciones y equipos de protección, telecontrol e infraestructura asociada a redes y computadores.

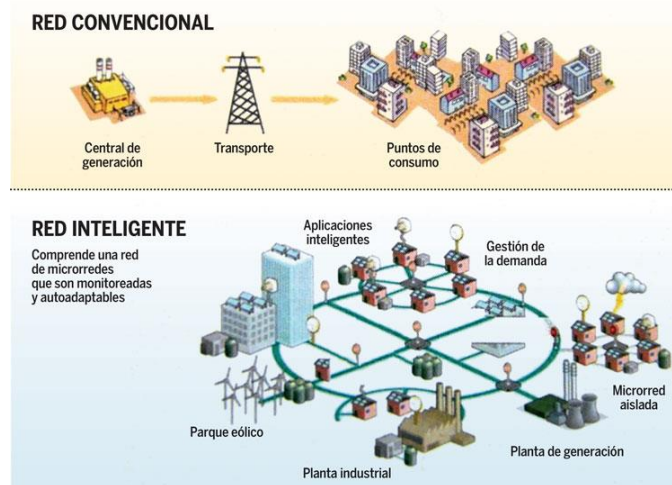
Fuente: [21]

7. RED INTELIGENTE DÓMESTICA APLICABLE A COLOMBIA

La integración de energía renovable al sistema eléctrico colombiano plantea retos, como la modificación en la interacción del usuario final con el sistema eléctrico, es decir la manera en que gestionan el usuario final el uso de la energía. Este nuevo esquema en la infraestructura eléctrica requiere un sistema de distribución flexible y bidireccional, logrando un sistema compuesto por Redes Inteligentes (RI).

En cuanto a la implementación de RI, existen distintas formas de implementación, con diferente nivel de complejidad, sin embargo hay modelos con tecnologías de comunicación estándar, la cuales permiten disponer fácil y seguro de los activos del sistema eléctrico. Una red inteligente proporciona una interfaz entre los aparatos de consumo y los recursos tradicionales de generación, transmisión y distribución de energía.

Figura 3. Sistemas de energía eléctrica convencional (a) y Sistemas de energía eléctrica Inteligente (b)



Fuente: [38]

En la tabla 3. Se realiza la comparación entre la red eléctrica actual colombiana frente a una RI, evidenciando debilidades técnicas del sistema eléctrico colombiano, debilidades correspondientes a tecnologías que deben adaptarse para el desarrollo de las RI, incluyendo infraestructura de comunicaciones a la infraestructura eléctrica actual, o en su defecto, migrando la infraestructura eléctrica actual a dispositivos que permitan protocolos de comunicación.

Tabla 3. Comparación técnica de la red eléctrica actual colombiana frente a una Red Inteligente (RI)

Red eléctrica actual colombiana	Red Inteligente (RI)
Electromecánica	Digital
Comunicación unidireccional en frontera comercial	Comunicación bidireccional en Smart meter
Generación centralizada	Sensores a lo largo de la RI
Pocos sensores	Auto monitoreo
Monitoreo manual	Reconfiguración automática
Fallas y apagones	Adaptativo y aislado
Control limitado	Control generalizado
Pocas opciones de implementación de TIC para los clientes	Múltiples opciones de implementación de TIC para los clientes

Fuente: [21]

Para la implementación de una RI en el sistema tradicional colombiano, es imprescindible incluir dentro de la infraestructura la integración de cuatro tecnologías:

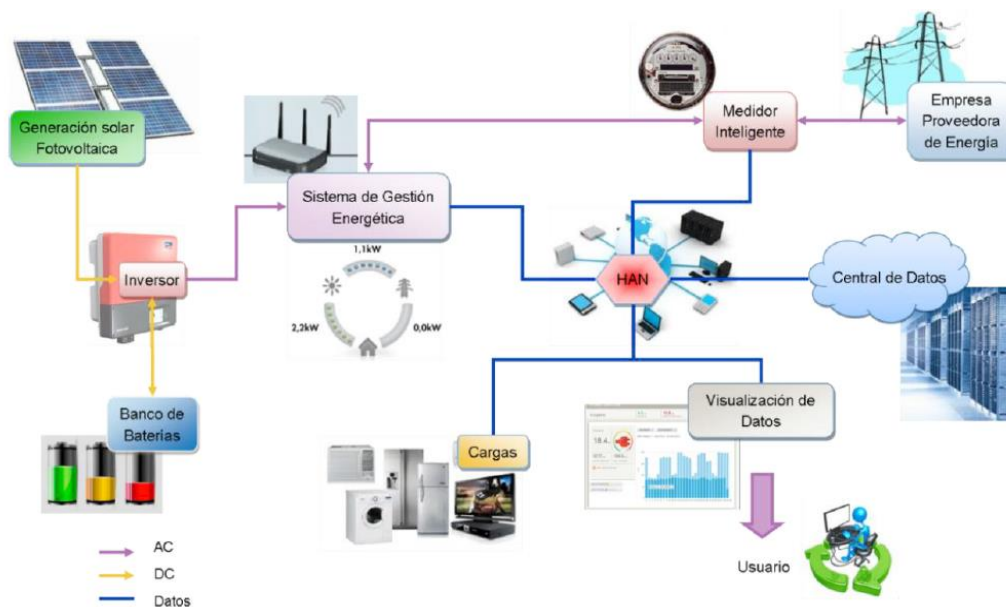
1. Advanced Metering Infrastructure (AMI, por sus siglas en inglés).

2. Automatización Avanzada de la red de Distribución, Advanced Distribution Automation (ADA, por sus siglas en inglés).
3. Recursos Energéticos Distribuidos (DER).
4. Vehículos Eléctricos (VE).

7.1. USUARIO RESIDENCIAL

Para gestionar el uso racional de energía es necesario incluir la interacción con el usuario final, esto con el propósito de que el usuario conozca el estado real de su consumo y gestione el uso eficiente de la energía. Para implementar esta interacción entre el usuario y el sistema eléctrico se debe implementar un RI doméstica, con la característica de comunicación bidireccional con la empresa proveedora del servicio energético. La comunicación bidireccional facilita la función de la empresa prestadora del servicio y la supervisión y gestión del consumo por parte del usuario residencial, la aplicación utilizada para este propósito permite visualización en equipos electrónicos del usuario.

Figura 4. Infraestructura de un sistema de gestión residencial.



Fuente: [39]

Para un usuario residencial se propone tomar como punto de partida la composición típica del sistema eléctrico y los demás requisitos técnicos eléctricos, de comunicaciones y locativos necesarios para la integración de las tecnologías que permitan la configuración del escenario propuesto, como se indica en la figura 4.

Se enlistan los requisitos técnicos sugeridos en el escenario de una red inteligente doméstica. Cada componente del listado estará justificado según criterios de orden técnico, según la expectativa de los incentivos y económicos.

Para desarrollar una topología de red inteligente doméstica en Colombia es necesario considerar criterios como:

- a) Segmentación de cargas
- b) Monitorización por circuito ramal.
- c) Incorporación del vehículo eléctrico.
- d) Incorporación de sistemas fotovoltaicos de uso residencial.
- e) Incorporación de infraestructura eléctrica para el usuario residencial.
- f) Infraestructura de comunicaciones.
- g) Capacidad de acometidas eléctricas.
- h) Infraestructura de Medición Avanzada: reporte de consumos diarios, semanales o mensuales por circuito segmentado.

Los requisitos indicados corresponden a los componentes técnicos necesarios para la implementación en el escenario residencial soportado en la experiencia de otros países y en proyectos de investigación con temáticas relacionadas al objeto de la monografía.

Figura 5. RI Doméstica



Fuente: Autor

a) Segmentación de carga

Cuando se tiene una medición bidireccional, al operador de red le interesa el consumo total del usuario, pero al involucrar al usuario de forma activa en el esquema de RID se debe garantizar la posibilidad no solo de conocer su consumo total en tiempo real, si no el consumo de las cargas instaladas en su hogar. El usuario podrá gestionar de forma eficiente el consumo de energía eléctrica, conociendo el consumo de sus electrodomésticos.

Para el propósito planteado, se requiere segmentar los circuitos, se sugiere segmentar de la siguiente manera:

Tabla 4. Sugerencia de distribución circuitos ramales

Distribución de circuitos ramales

Circuitos	Características
<i>Circuito de iluminación N° 1, 2 o 3</i>	Involucra luminarias convencionales con apagadores convencionales loft.
	Involucra luminarias convencionales con apagadores telegestionados y enrolados mediante la HAN al sistema domótica de gestión y por medio de una pasarela a la HAN.
	Involucra luminarias telegestionadas y apagadores convencionales en posición ON.
	Involucra luminarias telegestionadas sin apagador, es decir, con conexión directa al circuito ramal de iluminación.
<i>Circuito de lavado y planchado</i>	Involucra artefactos inteligentes con capacidad de telegestión, y enrolados mediante la HAN al sistema domótica de gestión y por medio de una pasarela HAN.
<i>Circuito de artefactos de cocina N° 1</i>	Involucra artefactos inteligentes conectados a tomacorrientes convencionales, con capacidad de telegestión, y enrolados mediante la HAN al sistema domótica de gestión y por medio de una pasarela HAN.
<i>Circuito de artefactos de cocina N° 1</i>	Dedicado para cargas significativas como hornos
	Involucra artefactos telegestionados Involucra tomacorrientes telegestionados
<i>Circuito de artefactos (centro de entretenimiento)</i>	Involucra artefactos inteligentes conectados a tomacorrientes telegestionados y enrolados mediante la HAN al sistema domótica de gestión y por medio de una pasarela HAN.

Fuente: Autor

b) Monitorización por circuito ramal

Con la realización de la segmentación de circuitos se requiere incluir dispositivos que permitan la comunicación con el sistema HAN.

c) Incorporación del vehículo eléctrico

Se sugiere incluir la infraestructura eléctrica considerando las condiciones críticas en el proceso de carga rápida.

Para unidades multifamiliares, se sugiere involucrar centros de carga en zonas comunes.

d) Incorporación de sistemas fotovoltaicos de uso residencial.

La RID de disponer de conexión para equipos y sistemas "GRID TIE", se sugiere involucrar áreas técnicas climatizadas o debidamente ventiladas para la instalación de equipos como inversores y rectificadores.

e) Incorporación de infraestructura eléctrica para el usuario residencial.

Se sugiere definir espacios técnicos de uso dedicado para contener tableros de distribución eléctrica, los tableros de distribución con espacio para acomodar los dispositivos de gestión energética, preferiblemente tableros de distribución tipo riel.

f) Infraestructura de comunicaciones.

Se sugiere que el cuarto técnico de uso dedicado se involucren los dispositivos de control para la domótica y la telegestión del sistema eléctrico de la RID. El tablero de control se debe ubicar adyacente al tablero de potencia.

Para la topología de redes de comunicación se sugiere utilizar ISP y HAN.

g) Capacidad de acometidas eléctricas.

Calculo de acometidas eléctricas incluyendo la disponibilidad de conexión de VE y GD.

h) Infraestructura de Medición Avanzada: reporte de consumos diarios, semanales o mensuales por circuito segmentado.

El medidor instalado, según normativa AMI, debe ser bidireccional y con capacidad de comunicación y sensible a señal tarifaria diferencial.

8. PROPUESTA DE INCLUSIÓN DE COMPONENTES TÉCNICOS

El presente capítulo pretende sugerir los requisitos técnicos adicionales que se deben incluir en el reglamento técnico RETIE para el diseño y la construcción de instalaciones eléctricas. La correspondencia con los requisitos técnicos propuestos para una red doméstica inteligente y su respectiva redacción para incluir el requisito técnico acorde al capítulo establecido en el RETIE vigente.

A continuación se sugieren requisitos técnicos para la inclusión en el RETIE aplicados a una RID:

- La iluminación de espacios tiene amplia relación con las instalaciones eléctricas, ya que la mayoría de las fuentes modernas de iluminación se basan en las propiedades de los diodos emisores de luz (LED) sometidos al paso de la corriente eléctrica. Una buena iluminación además de ser un factor de seguridad, productividad y de rendimiento en el trabajo, mejora el confort visual. El diseñador debe garantizar la definición de circuitos exclusivos para los servicios de iluminación de las unidades residenciales, instalaciones comerciales, industriales e institucionales. El diseño detallado o el esquema de iluminación se realizarán conforme a las necesidades de iluminación resultantes del cumplimiento del Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público RETILAP.
- La instalación de bandejas portacables en instalaciones residenciales se permite cuando se cumplan al menos las siguientes condiciones y facilidades:
 1. Cuando se instale cielo raso con la cantidad de rejillas de inspección necesarias, como mínimo en los cambios de dirección de la bandeja y cada ocho (8) metros en los tramos rectos.

2. Cuando se requieran corredores disponibles y con reserva para cables de comunicaciones, seguridad y control de iluminación.
 3. Cuando se utilicen cables con aislamiento libre de halógenos y baja producción de humo en caso de incendio.
 4. Cuando la bandeja portacables se utilice para compartir redes de comunicaciones y redes eléctricas, se debe utilizar tabique de separación.
- Se sugiere actualizar el estudio de determinación de la corriente nominal para el circuito dedicado a cargadores de vehículos eléctricos, especialmente teniendo en cuenta que según estudio de 2014, el escenario de carga de algunas marcas y modelos disponibles excede el valor indicado de 10 amperios.
 - La infraestructura eléctrica debe disponer de ductos con el calibre acorde a los cálculos de regulación y pérdidas para el sistema de generación distribuida, la ductería debe garantizar el acceso directo desde el tablero de potencia hasta la terraza o área disponible para la instalación del generador distribuido.
 - La construcción de la unidad familiar debe incluir como mínimo un espacio técnico o cuarto técnico, en el cual se alberguen los tableros de control y disponibilidad para incluir los tableros de control.
 - Los gabinetes de potencia deben ser de tipo riel, y contar con el espacio para acomodar los dispositivos de potencia de los circuitos segmentados de la unidad residencial e incluir espacios de reserva. En el caso que se requiera compartir el gabinete de potencia con el sistema de control para la gestión de la energía, este debe realizar la respectiva separación dispositivos de control y potencia, con su respectiva identificación.

9. CONCLUSIONES

Las energías verdes alimentan un justificado optimismo, pero aún persiste la relativa sensación de tranquilidad frente al uso de fuentes altamente contaminantes y de gran impacto en los ecosistemas, de esta manera cualquier cambio favorable debe incluir cambios a nivel del sistema cultural global y los cambios de los sistemas eléctricos no deben ser evolutivos sino revolucionarios debido a los nuevos escenarios y modelos de negocio que cambiaran la forma como se conocen hoy en día las empresas dedicadas a los servicios energéticos.

Desde las diversas opciones de generación de energía hasta las nuevas condiciones de las fronteras comerciales donde los clientes se convierten en agentes transaccionales en cuanto a las tarifas y los flujos de la energía, los operadores de red se encuentran en un estado de expectativa permanente debido a la dinámica de cambio de las reglas del negocio. Aun cuando los beneficios de las redes inteligentes domésticas se pueden medir en función de diversas perspectivas, este documento es un esfuerzo para evaluar la perspectiva del usuario final bajo las nuevas condiciones del negocio de la energía eléctrica en escenarios cada vez más incluyentes de la relación entre la generación y el uso final de la energía teniendo en cuenta la relación entre todos los agentes involucrados en los procesos de la energía eléctrica.

Una red inteligente doméstica no se configura únicamente mediante la incorporación de los medidores inteligentes, en un escenario completo, dicha configuración se basa en topologías y arquitecturas de componentes eléctricos y de comunicaciones donde se involucran los medidores inteligentes, la segmentación de cargas y de circuitos ramales, los artefactos inteligentes, la domótica y los sistemas fotovoltaicos con opción el almacenamiento local o mediante vehículos eléctricos con opción de conexión a la red, sin embargo, la tecnología no supone

cambios por sí sola y no se puede subestimar el impacto del usuario final en la expectativa del nuevo modelo de negocio, donde la gestión de la demanda constituye un factor importante para la toma de decisiones por parte de los usuarios finales en función de las diversas y novedosas formas de interacción con la red de distribución.

Sin embargo la respuesta de los operadores de red parece más enfocada en las amenazas y no en las oportunidades que suponen los cambios del modelo del negocio de la energía, cuya esencia se fundamenta en condiciones implementadas desde los albores del uso comercial de la electricidad. Algunas amenazas resultan desafiantes como la expectativa global de algunos países donde la demanda de energía no ha crecido según lo previsto, e incluso ha disminuido,³⁴ adicionalmente se mantiene la percepción de la relación proporcional entre las inversiones en proyectos de energías verdes y la fragilidad de los sistemas eléctricos.

Sin el desarrollo de marcos legales adecuados las decisiones técnicas no trascienden del escenario de buenas ideas a escenarios de buenos proyectos, actualmente la tecnología tampoco supone restricciones importantes, y las economías de escala han permitido una reducción gradual y sostenida de los costos de producción de sistemas fotovoltaicos, eólicos y demás. De esta manera, este trabajo de grado involucra la síntesis del estado actual del desarrollo del marco legal colombiano relacionado a los incentivos derivados de iniciativas para propiciar el uso de fuentes no convencionales de energía por parte de los usuarios finales, adicionalmente se incluyen los requisitos técnicos necesarios para facilitar la transición de los sistemas eléctricos residenciales convencionales a las redes inteligentes domésticas, aprovechando la coyuntura de la actualización del reglamento técnico vigente.

³⁴ Por ejemplo en USA, el consumo de energía se ha reducido desde el 2007 a pesar del uso creciente de artefactos de uso doméstico y comercial.

En la revisión al RETIE vigente se concluye que, las modificaciones corresponden a aspectos técnicos que no involucran el dimensionamiento de condiciones de infraestructura eléctrica para involucrar un sistema de energías renovables a usuarios residenciales. El reglamento solicita requerimientos de productos y se solicitan certificados de conformidad de fabricantes para los sistemas construidos. Pero las características constructivas que propicien facilidad a los usuarios que pretendan aplicar a la reglamentación de la Ley 1715 de 2014, aún se encuentran pendientes

La revisión del RETIE en estudio, no se encuentra actualizado conforme las normativa emitida este años por el MME con respecto a la resolución N° 40072 del 29 de enero y la CREG resolución N° 030 del 26 de febrero, se considera importante adicionar a la reglamentación en estudio la caracterización de una Red Inteligente Doméstica involucrando activamente al usuario final en la respuesta a demanda. Esta versión en estudio del reglamento, no incluye la infraestructura disponible o de reserva para la implementación de una RID, no establece los parámetros técnicos para el diseño de acometidas eléctricas principales de diseño.

Para la implementación de una RID, es necesario involucrar requisitos técnicos de instalación para el sistema de telecomunicaciones en usuarios residenciales. Parámetros que permitan estandarizar el diseño, construcción y supervisión de las redes de comunicaciones en el país.

BIBLIOGRAFÍA

AMI: Advance Metering Infrastructure [En línea]. Available <http://www.indiasmartgrid.org/Advanced-Metering-Infrastructure.php?m=3&y=2016> [Último acceso: 02 de noviembre de 2017].

Agencia Internacional de Energía [En línea]. Available <http://www.iea.org/> [Último acceso: 01 de noviembre de 2017].

Agencia Internacional de Energía, Publicación Renovables 2016 [En línea]. Available <http://www.iea.org/renewables/#section-1-2> [Último acceso: 01 de noviembre de 2017].

Análisis de las alternativas tecnológicas de medidor y transferencia inteligente y su compatibilidad par la integración en una red inteligente residencial. Trabajo de Grado presentado por L. Acero, C. Fonseca a la Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones de la Universidad Industrial de Santander (UIS) en 2013. (Pág. 58 Infraestructura de un sistema de gestión como fuente).

Banco mundial: Acceso a la electricidad (% de la población) [En línea]. Available <https://datos.bancomundial.org/indicador/EG.ELC.ACCS.ZS?end=2014&locations=CO&start=1990&view=chart> [Último acceso: 06 de noviembre de 2017].

Blansche, Jorge: 2007, La Rebelión de GAIA, Swing.

Boletín Estadístico de Minas y Energía 2012 – 2016, Sistema de Información Minero Energético Colombiano SIMEC.

Candidato presidencial Gustavo Petro [En línea]. Available <https://petro.com.co/programa/> [Último acceso 28 de mayo de 2018].

Candidato presidencial Iván Duque [En línea]. Available <https://www.ivanduke.com/propuestas> [Último acceso 28 de mayo de 2018].

Caracterización de cargas eléctricas especiales: El Vehículo Eléctrico. Trabajo de Grado presentado por J. Niño, D. Velandía a la Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones de la Universidad Industrial de Santander (UIS) en 2014. (Pág. 106 Análisis del VE como fuente).

Caracterización Tecnológica de la Topología de un Sistema de Gestión Energética Residencia. Trabajo de Grado presentado por G. Archila y W. Gómez a la Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones de la Universidad Industrial de Santander (UIS) en 2012. (Pág. 44 – 2.4.3. Componente Ontológico, a. Importancia de la monitorización desagregada del consumo).

Comisión de Regulación de Energía y Gas CREG, Resolución 121 de 2017, “CREG, vol. 2017. No. Agosto 28, 1- 21, 2017.

Determinación del consumo final de energía en los sectores residencial, urbana y comercial y determinación de consumos para equipos domésticos de energía eléctrica y gas. Documento presentado a la UPME por el Departamento de Física de la Facultad de Ciencias de la Universidad Nacional de Colombia en junio 11 de 2006.

El Congreso de Colombia, Ley 1715 de 2014, “Ministerio de Minas y Energía, vol. 2014. No. Mayo 13, pp 1-26, 2014.

El Congreso de Colombia, Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas RETIE, Resolución 90708 de agosto 30 de 2013 del Ministerio de Minas y Energía “Ministerio de Minas y Energía, vol. 2013 No Noviembre 06, 8-16, 2013.

El Congreso de Colombia, Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público RETILAP, Resolución 180540 de marzo 30 de 2010 del Ministerio de Minas y Energía “Ministerio de Minas y Energía, 2010.

El Congreso de Colombia, Ley 697 de 2001_Ley URE, “Ministerio de Minas y Energía, vol. 2001. No. Octubre 3, pp. 3-6, 2001.

El Congreso de Colombia, Resolución 41286 de 2016, “Ministerio de Minas y Energía, vol. 2001. No. Noviembre 13, pp. 4-5, [En línea]. Available http://www1.upme.gov.co/DemandaEnergetica/MarcoNormatividad/Resolucion_41286_de_2016_PROURE.pdf.

El Congreso de Colombia, Ley 1665 de 2013. No. Noviembre 13, pp. 1, [En línea]. Available http://www.secretariassenado.gov.co/senado/basedoc/ley_1665_2013.html

El Congreso de Colombia, Ley 1665 de 2013. No. Noviembre 13, pp. 1, [En línea]. Available http://www.secretariassenado.gov.co/senado/basedoc/ley_1665_2013.html

El Congreso de Colombia, Ley 142 DE 1994, “Ministerio de Minas y Energía, vol. 1994. No. Julio 11, pp. 1-576, 1994.

El Congreso de Colombia, Ley 143 de 1994, “Ministerio de Minas y Energía, vol. 1994. No. Julio 11, pp. 1-26, 1994.

EMPOWERING customers to save energy by informative billing [En línea]. Available http://iee-empowering.eu/en/wp-content/uploads/2013/09/EMPOWERING_D3.2.pdf [Último acceso: 02 de noviembre de 2017].

Energías Renovables 2016 Reporte de la situación mundial, REN 21 Renewable Energy Policy Network for the 21st Century, 2017.

Gaceta Digital UNAM, Científicos trabajan en el modelado de fuentes alternativas (En línea). Available el 31 de mayo 2018. Disponible en: <http://www.gaceta.unam.mx/20150625/cientificos-trabajan-en-el-modelado-de-fuentes-alternas-de-energia/>

Gazzaniga, Michael S, El Cerebro Ético, Paidós, 2015.

Ministerio de Minas y Energía [En línea]. Available <https://www.minminas.gov.co/retie> [Último acceso 27 de mayo de 2018].

Norma Técnica Colombiana 2050 (NTC 2050) “Código Eléctrico Colombiano”.

REN21 Renewable Energy Policy Network for the 21st Century, Energías Renovables 2017 Avanzando en la transición mundial hacia la energía renovable 2017.

Universidad Distrital Francisco José de Caldas [En línea]. Available <https://revistas.udistrital.edu.co/ojs/index.php/Tecnura/article/view/12396/13448>
Regulación de autogeneración a pequeña escala y de generación distribuida.

Unidad de Planeación Minero Energética (UPME) http://www.upme.gov.co/Estudios/2016/SmartGrids2030/1_Parte1_Proyecto_BID_Smart_Grids.pdf.

Unidad de Planeación Minero Energética UPME, “Plan de Acción Indicativo de Eficiencia Energética – PAI PROURE 2017 – 2022”, Republica de Colombia, Ministerio de Minas y Energía, 2016

Unidad de Planeación Minero Energética UPME, Resolución 143 de marzo de 2016, Bogotá D.C, 2016.

Unidad de Planeación Minero Energética UPME, Resolución 045 de febrero de 2016, Bogotá D.C., 2016.

Vaclav Smil, Energy and Civilization a History, MIT, 2017