



ESTUDIO SOBRE LA IMPLEMENTACIÓN DE REDES ELÉCTRICAS INTELIGENTES “SMART GRIDS” EN EL DEPARTAMENTO DEL CESAR: UNA REVISIÓN

STUDY ON THE IMPLEMENTATION OF SMART GRIDS IN THE CESAR DEPARTMENT: A REVIEW

¹ Mauricio Castañez Quiroz , ² Ms.c Yesid Eugenio Santafé Ramón
¹ Programa de Ingeniería Eléctrica, ² Programa de Ingeniería Electrónica
^{1,2} Universidad de Pamplona

RESUMEN

. Se logró efectuar un estudio sobre la implementación de las redes eléctricas inteligentes en el departamento del Cesar, se hizo uso de un marco de referencia que permitió establecer las características fundamentales del sistema eléctrico que se encuentra interconectado en este departamento, asimismo se presenta un análisis ajustado a esta zona del país y al cumplimiento de la Visión Colombia 2030.

En la actualidad la electricidad se ha convertido en un pilar para la sociedad en general ya que dependemos en gran porción de ella, siendo esta la que genera demoras en la producción de las industrias cuando el sistema eléctrico falla, por ello se hace necesario el uso de redes eléctricas inteligentes para generar soluciones en el sistema eléctrico, mejorar la labor de los elementos que se encuentren interconectados para así facilitar una red moderna que ayudará a minimizar interrupciones en el fluido eléctrico.

PALABRAS CLAVE: redes eléctricas inteligentes, modelos de redes inteligentes, tecnologías de las redes inteligentes, generación distribuida, proyectos relacionados.

ABSTRACT

A study was carried out on the implementation of smart electrical grids in the department of Cesar, a reference framework was used that made it possible to establish the fundamental characteristics of the electrical system that is interconnected in this department, and an adjusted analysis is also presented to this area of the country and to the fulfillment of the Vision Colombia 2030.

At present, electricity has become a pillar for society in general since we depend to a large extent on it, being this the one that generates delays in the production of industries when the electrical system fails, therefore it is necessary to use of intelligent electrical networks to generate solutions in the electrical system, improve the work of the elements that are interconnected in order to facilitate a modern network that will help minimize interruptions in the electrical flow.

KEY WORDS: Smart Grids, smart grid models, smart grid technologies, distributed generation, related projects

I. Introducción

El Cesar es un departamento con una extensión de 22.905 km², en este departamento como en todo el país la demanda energética ha ido en aumento en compañía de la parte económica, esto hace necesario que se revisen nuevas alternativas para entender el aumento apresurado de dicha demanda energética, debido a esto se presenta un estudio sobre la implementación de redes eléctricas inteligentes, ya que estas son unas redes avanzadas que estarán en armonía con los avances del siglo XXI y las diferentes necesidades de los usuarios del sector residencial e industrial. En el presente trabajo se encuentran contenidos proyectos, avances y tecnologías existentes acerca de una red inteligente, las mejoras que se obtendrían en esta zona del país al implementar las Smart Grids, tales mejoras se verían reflejadas en la eficiencia, integridad, confiabilidad y disponibilidad del sistema eléctrico, también en la protección del medio ambiente, todo esto conforme a lo establecido en el documento de visión Colombia 2030.

1.1. UBICACIÓN

“El departamento del Cesar se encuentra ubicado en la zona noreste del país como se muestra en la figura 1, este departamento disfruta de una extensión de 22.905 km² y una población de 1.041.203 habitantes, ubicado en la parte nororiental del país, limita al norte con los departamentos de La Guajira y Magdalena; por el sur, con Bolívar, Santander y Norte de Santander y por el este, limita con Norte de Santander y la República Bolivariana de Venezuela, este departamento cuenta con 25 municipios, su capital es Valledupar.”[1]

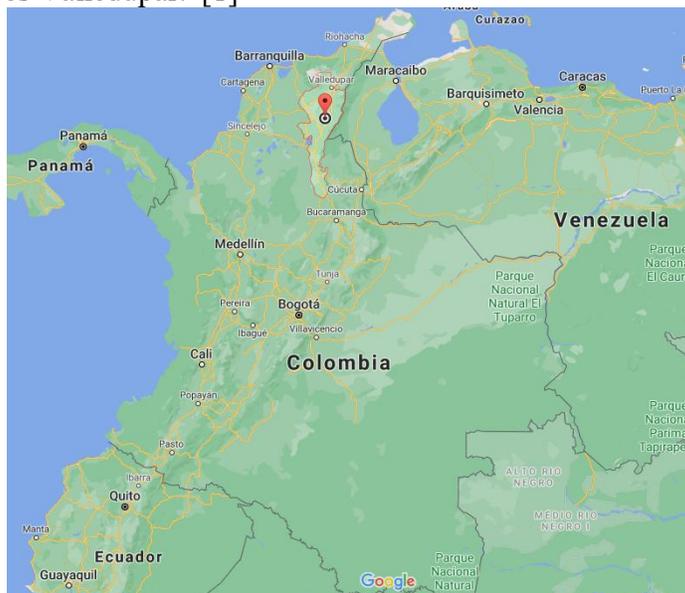


FIGURA 1. Ubicación departamento del Cesar
Fuente: Extraído de “google maps 2021”

1.2. RADIACIÓN SOLAR

El Cesar se encuentra entre los departamentos con mayor intensidad de irradiación solar anual como se observa en la figura 2, la zona norte de este departamento presenta uno de los valores de mayor radiación solar (5,5kWh/m) por día, presenta dos tipos de comportamiento, donde los promedios con mayor radiación se ubican principalmente a principios de año, en el mes de febrero y a mitades de año, los promedios de menor radiación solar se registran entre abril y mayo y a mitad de los meses de septiembre y noviembre.[3]

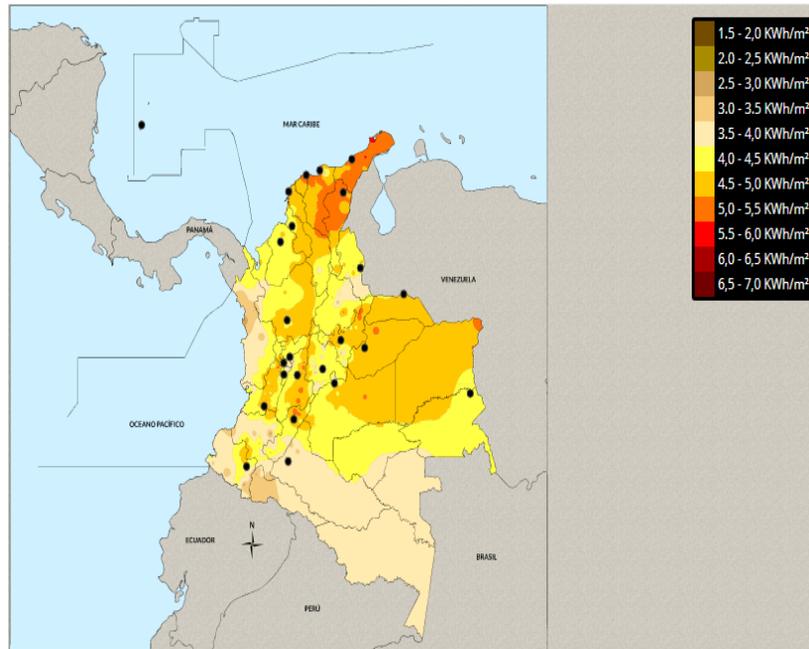


FIGURA 2. Irradiación global horizontal medio diario anual
Fuente: Extraído de “Atlas de radiación solar, ultravioleta y ozono de Colombia”[2]

1.3. VELOCIDAD DEL VIENTO

Este departamento se encuentra situado como una de las zonas donde se presenta el viento con mayor fuerza en la superficie, con una velocidad promedio anual que oscila entre 3 y 4m/s como se muestra en la figura 3, presenta sus periodos de viento máximos a principios de año y un segundo máximo se presenta a mediados de año, entre julio y agosto. {Formatting Citation}

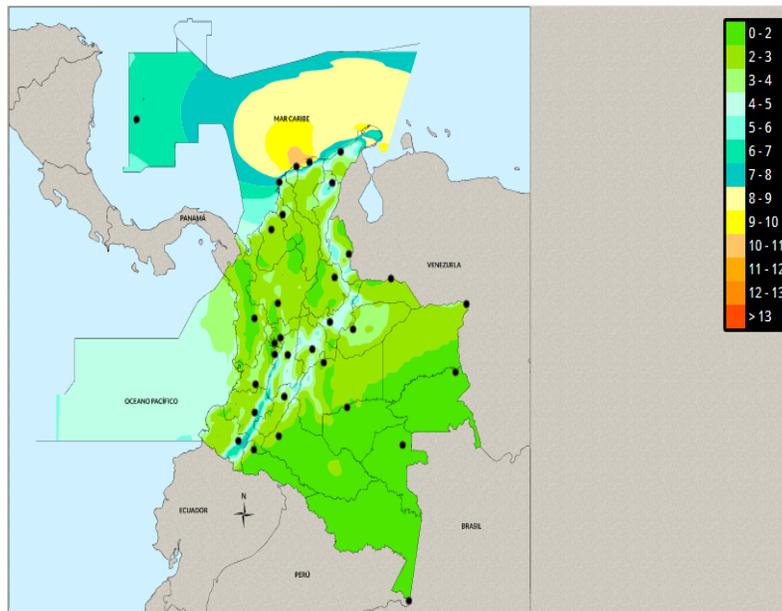


FIGURA 3. Velocidad promedio (m/s) anual del viento a 10 metros de altura
Fuente: Extraído de “Atlas de viento”[2]

II. GENERALIDADES DE LAS REDES INTELIGENTES “SMART GRIDS”

2.1. DEFINICIÓN DE REDES INTELIGENTES

Las redes inteligentes son un concepto moderno que ha ido tomando fuerza con el pasar del tiempo y la necesidad del uso de nuevas tecnologías, pese a esto, estas no se pueden definir de manera precisa por las distintas definiciones que existen acerca de las Smart Grids, pero en términos generales se puede decir que este tipo de redes tienen como finalidad conseguir que el sistema eléctrico funcione de manera eficiente, sostenible y económica para así lograr el abastecimiento de la electricidad, este tipo de redes se caracterizan por un flujo bidireccional de energía y comunicación. Se puede asegurar que las Smart Grids pertenecen a la modernización de la red eléctrica que se encuentra instalada actualmente.[5]–[8]

Smart Grid European Technology platform (ETP SG) y Electric Power Research Institute (EPRI) plantean diferentes definiciones de las redes inteligentes:

Electric Power Research Institute (EPRI) define las redes inteligentes de la siguiente manera:

“Una red que incorpora las tecnologías de información y comunicación en cada aspecto de la generación, suministro y consumo de electricidad, con el objetivo de minimizar el impacto medio ambiental, mejorar los mercados, mejorar la fiabilidad y el servicio, reducir costos y aumentar eficiencia”[9]

Smart Grid European Technology platform (ETP SG) define las redes inteligentes de la siguiente manera:

“Una red que integra de forma inteligente las acciones de todos los usuarios conectados a ella – generadores, consumidores y aquellos que son ambas cosas – para suministrar electricidad de forma eficiente, sostenible, económica y segura”[9]

En la figura 4 se presenta el modelo conceptual de las redes eléctricas inteligentes propuesto por el Instituto Nacional de normas y Tecnología de Estados Unidos, se observa que además del vínculo eléctrico entre los dominios comunes de la electricidad (generación, transmisión, distribución y usuario final), se encuentran diferentes vínculos entrelazados que indican las comunicaciones entre un área y otra, es decir, se proyecta una bidireccionalidad total entre los sectores mostrados. [6]

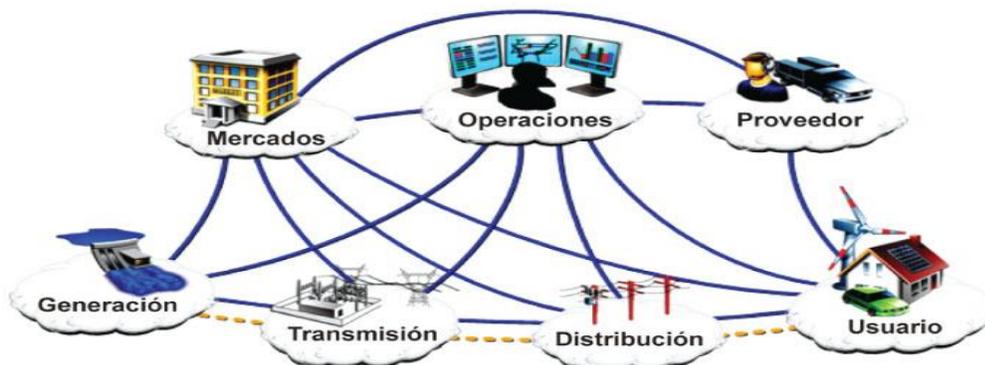


FIGURA 4. Modelo conceptual de las redes eléctricas inteligentes

Fuente: Extraído de “Estudio sobre el estado actual de las ‘smart grids” [6]

III. MODELOS DE REDES INTELIGENTES

Los modelos de redes inteligentes son esquemas que compaginan distintas tecnologías para convertir la red eléctrica actual en una red moderna capaz de brindar mejoras en su confiabilidad y



múltiples beneficios a los operadores de red y a los usuarios. Se encuentran distintos modelos para la implementación de redes inteligentes, en este trabajo se presentan los modelos que han tenido un gran impacto a nivel internacional y son más viables para el departamento del Cesar.[10]

3.1. IEEE P2030

El modelo IEEE P2030 suministra los distintos pasos para interpretar de mejor manera la interoperabilidad de redes inteligentes, este incorpora estándares y protocolos para estas redes, además integra la tecnología energética, la tecnología de información y comunicaciones para alcanzar un óptimo funcionamiento que son los tres enfoques que este modelo posee. Cada enfoque goza de varios conocimientos: generación, transmisión, distribución, servicios, negocios, control de las operaciones y por último los usuarios.

Este estándar proporciona la ruta para la implementación de los elementos en las redes inteligentes, asimismo facilita la base de conocimientos que abarca las particularidades, el rendimiento práctico y métodos de evaluación y la aplicación de fundamentos de ingeniería para la interoperabilidad en redes inteligentes.[11]

3.2. GRIDWISE ARCHITECTURE COUNCIL (GWAC)

El modelo GWAC ofrece promover y permitir la interoperabilidad necesaria para modernizar las operaciones de la electricidad en un sistema que constituye mercados y distintas tecnologías para dar mejoras al bienestar de los usuarios.

Este modelo surge con la finalidad de reconocer los estándares y protocolos para así garantizar la interoperabilidad, la seguridad informática y los múltiples sistemas que hacen parte de las redes eléctricas inteligentes. En la figura 5 se muestran las categorías, niveles y las infraestructuras de este modelo.[12].



FIGURA 5. GridWise Architecture Council (GWAC).

Fuente: Extraído de “Comisión de Regulación de Energía y Gas”(CREG).[12]

3.3. SMART GRID MATURITY MODEL (SGMM)

El modelo SGMM fue propuesto por el Instituto de Ingeniería de Software de la Universidad de Carnegie Mellon, este es un modelo de madurez de las redes inteligentes que posibilita la medición cuantitativa y las distintas tácticas para la implementación de redes inteligentes.



Este modelo suministra un planteamiento que agrupa las distintas necesidades para conseguir la modernización de la red actual, los diferentes elementos y equipos que la componen, asimismo involucra personas, procesos y tecnologías para obtener un equilibrio en sus dominios, también hace uso de dominios y niveles que admiten evaluar e implantar el proceso de madurez de las redes eléctricas inteligentes. En la tabla 1 se observan las diferentes características que presenta cada dominio.[13]

Tabla 1. Smart Grid Maturity Model (SGMM).

DOMINIO	CARACTERÍSTICAS
Estrategia, Gestión y Regulación. (SMR)	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Visión y estrategia de redes inteligentes. ✓ Establecer procesos internos de gestión y gobierno. ✓ Colaboración con las partes interesadas en la implementación.
Organización y Estructura. (OS)	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Alinear y operar para lograr la transformación de red inteligente deseada. ✓ Modificaciones en las comunicaciones, cultura, estructura, formación y educación. ✓ Aprovechamiento de oportunidades que ofrecen las redes inteligentes.
Operación de la red. (GO)	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Confiabilidad, seguridad y eficiencia en la operación de la red eléctrica. ✓ Elevado grado de conocimiento de la red local, regional y nacional. ✓ Revisión de la madurez de la red.
Gestión de activos y trabajo. (WAM)	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Óptimo manejo de los activos y talento humano en el sector eléctrico.
Tecnología. (TECH)	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Planificación estratégica de la tecnología enfocada en redes inteligentes. ✓ Cumplimiento de estándares relevantes en el sector. ✓ Evaluación, adquisición, integración y validación de la tecnología de redes inteligentes. ✓ Reducción de riesgos (interoperabilidad, actualización, seguridad, costos y rendimiento).
Cliente. (CUST)	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Participación pasiva o activa del cliente. ✓ Participación pasiva (la empresa administra la carga y selecciona las fuentes de energía). ✓ Participación activa (control necesario para gestionar su carga y seleccionar diferentes fuentes de energías alternativas).
Integración de la cadena de valor. (VCI)	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Alcanzar con éxito la implementación de redes inteligentes. ✓ Producción y entrega de la energía.
Sociedad y Ambiente. (SE)	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Contribución al logro de los objetivos sociales. ✓ Aprovechamiento de energías alternativas. ✓ Reducción del impacto ambiental. ✓ Sostenibilidad económica y capacidad para integrar energía distribuida.

Fuente: Elaboración propia a partir del documento “Metodología para la evaluación de proyectos pilotos “Smart Grid” en Colombia”[13]

3.4. SMART GRID ARCHITECTURE MODEL (SGAM)

El modelo SGAM permite examinar distintas soluciones de redes inteligentes, además se encamina en el cambio de las redes inteligentes haciendo uso de los múltiples fundamentos como la universalidad, la coherencia, la interoperabilidad, flexibilidad y la localización.

Actualmente este modelo es tomado como referencia a nivel internacional ya que permite que las redes inteligentes puedan extenderse en cuanto a conversión de energía eléctrica, el SGAM se encuentra dividido en 5 dominios, 6 zonas y 5 capas, los dominios de la red nos indican la cadena de cambio de energía eléctrica: generación, transmisión, distribución, recursos energéticos distribuidos y usuarios finales. Las zonas detallan los distintos niveles que se encuentran implicados en el sistema eléctrico: proceso, campo, estación, operación, empresa y mercado, entretanto la relación existente entre los dominios antes mencionados y las zonas descritas se fija mediante capas: componente, comunicación, información, funciones y negocios.[13]

Las capas al tener interoperabilidad dan acceso a ajustar y analizar las distintas vistas y oportunidades de negocios, como de describen a continuación:

- ✓ Capa de negocios: esta es la capa superior, en ella se representa la visión de las redes inteligentes y es utilizada para dar detalles acerca de los múltiples mercados, la regulación, productos, agentes, entre otros. El SGAM ajusta las vistas técnicas en las siguientes 4 capas inferiores.[7]
- ✓ Capa de funciones: en esta capa se representan las diferentes actividades que se ejecutan en las empresas energéticas, además es beneficiaria de la tecnología desarrollada en el sector.[14]
- ✓ Capa de información: en esta capa se define la estructura de información incluida en la red energética, además describe la información que se intercambia entre las funciones, los servicios y los componentes, haciendo inclusión en el almacenamiento de datos.[14]
- ✓ Capa de comunicación: esta capa es la encargada del reconocimiento de información entre las capas, asimismo describe los protocolos y mecanismos de comunicación.[13]
- ✓ Capa de componente: esta es la capa más baja, en ella se describen todos los elementos y su distribución física, aquí se incluyen aplicaciones, los equipos de potencia, dispositivos de protección e infraestructura de comunicaciones.[13]

En la figura 6 se observan los dominios, las zonas y las capas que fueron descritas anteriormente:

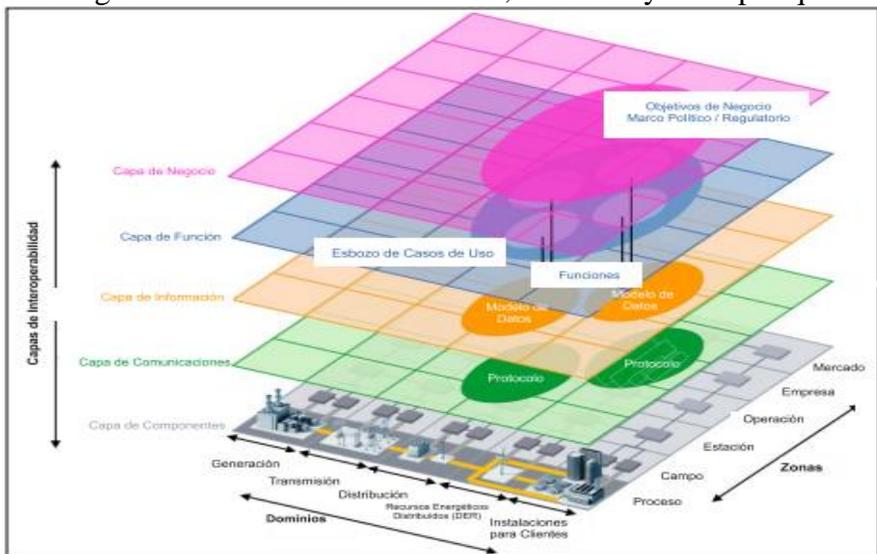


FIGURA 6. Smart Grid Architecture Model (SGAM).

Fuente: Extraído de “Redes inteligentes en el sistema eléctrico colombiano: Revisión de tema”[14]

3.5. SMART GRID COMPASS

Este modelo fue propuesto por la empresa SIEMENS, lo que se plantea en él, es un enfoque de información y examen, mediante el cual se posibilita la descripción de una ruta óptima para la creación, modificación o ampliación de una red inteligente, asimismo facilita la determinación del grado de madurez para implementar redes inteligentes en distintas organizaciones.

El objetivo principal de este modelo es redefinir el sentido de la planificación de redes inteligentes, con esto se busca respaldar la implementación de manera correcta de las diferentes tecnologías y así mejorar la eficacia de la empresa prestadora del servicio.[15]

En la figura 7 se muestra el marco que establece el COMPASS, este se encuentra distribuido en cuatro partes, las cuales constituyen la orientación de una empresa de energía eléctrica, estas partes están agrupadas con la organización inteligente que es de vital importancia para las distintas empresas a la hora de realizar cambios estructurales.



FIGURA 7. Smart Grid Compass

Fuente: Colombia Inteligente-Smart Grid Compass TM.[16]

IV. TECNOLOGÍAS DE LAS REDES INTELIGENTES

En la actualidad encontramos distintas tecnologías que hacen factible mejorar la red eléctrica existente actualmente hacia una red inteligente y moderna que tenga la capacidad de cumplir con los distintos objetivos planteados por la entidad gubernamental del departamento del Cesar y por la iniciativa de visión Colombia 2030, en este proyecto se estudiaron las cuatro principales tecnologías haciendo un análisis sobre los diferentes beneficios que se obtienen al ser implementadas.

4.1. INFRAESTRUCTURA DE MEDIDA AVANZADA (AMI)

Esta tecnología requiere de información acerca del estado de la red, siendo observada desde el lugar del generador y el lugar del consumidor, esta infraestructura de medida avanzada en conjunto con una red de comunicaciones, abastecen la información pertinente para enviar y recibir órdenes. Los sistemas AMI se encuentran constituidos por cuatro componentes: medidor inteligente, concentrador de datos, sistema de gestión de información y red de comunicaciones. A continuación se explica brevemente cada uno de estos elementos:

- ✓ Medidor inteligente: este es el encargado de almacenar y transmitir los datos sobre el consumo alrededor de los agentes que se encuentran involucrados, se encuentran ubicados en la parte inferior de la infraestructura como se muestra en la figura 9, estos pueden estar



- instalados en el inmueble del consumidor o en algún lugar exterior mediante medición centralizada.[17]
- ✓ Concentrador de datos: es el encargado de recibir la información de un grupo de medidores y la transfiere al centro de gestión, generalmente se encuentra ubicado en las subestaciones o en los transformadores de distribución de electricidad.[17]
- ✓ Red de comunicaciones: esta red es la que permite transferir la información para que el sistema de gestión la estudie y tome las diferentes determinaciones con relación a los datos examinados. Además dependiendo de la disponibilidad y las peticiones de la compañía y del usuario, esta red es flexible.[17]
- ✓ Sistema de gestión de información: este sistema es encargado de recibir y transferir los datos desde el equipo y hacia el mismo.[17]

Para la implementación de la AMI es importante tener el apoyo de componentes que avisan acerca del estado de la red, como son: subestación, transformadores principales y de reparto, asimismo se encuentran incluidos los distintos componentes que efectúan medición avanzada a nivel usuario, además de efectuar lectura distante, esto genera una participación eficiente del consumidor en el mercado eléctrico. En la tabla 2 se pueden observar las distintas funcionalidades y beneficios que se lograrían obtener en el departamento del Cesar con la implementación de esta tecnología.[7], [9]

Tabla 2. Funcionalidades y beneficios sobre la tecnología AMI

FUNCIONALIDAD	BENEFICIOS
Operación remota	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Ahorro en costos de operación. ✓ Lectura de medidores de manera remota. ✓ El operador de red dispone del monitoreo de los flujos de potencia en sus redes eléctricas.
Información al usuario	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Información referente a su consumo en tiempo real. ✓ El usuario conocerá su perfil de consumo.
Tarifación horaria	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Promover cambios en los hábitos de consumo de los clientes. ✓ Implementación de tramos horarios.
Gestión activa de cargas	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Conexión y desconexión de cargas en momentos convenientes. ✓ Nivelación de la curva de demanda. ✓ Integración de la generación distribuida. ✓ Minimizar instalación de sistemas de generación.
Restricción de potencia de forma remota	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Reducción en los costos de ejecución por parte del operador de red. ✓ Solicitar cambios de potencia por parte de los usuarios para disminuir su factura.

Fuente: Elaboración propia a partir del documento “Antecedentes y marco conceptual del análisis, evaluación y recomendaciones para la implementación de redes inteligentes en Colombia”[9]

En Colombia para el año 2030 el Ministerio de Minas y Energía (MME) espera que el 75% de los usuarios que se encuentran conectados al Sistema Interconectado Nacional (SIN) tengan implementada la AMI. A la fecha la Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG) ha hecho públicos dos proyectos para la implementación de esta Infraestructura de Medida Avanzada, es decir, aún no están los estatutos para este proceso, pero se espera que a finales del año 2021 estén.[18]

A nivel nacional e internacional se encuentran diferentes fabricantes de esta tecnología, entre los más relevantes están empresas como INELCA que es el fabricante colombiano que se dedica a la realización de medidores inteligentes, ubicada en Santiago de Cali, también encontramos fabricantes como SIEMENS, Eister, Landis, Kamstrup, Sensus, entre otros.[19] En la figura 8, se evidencia el esquema general de la tecnología AMI.

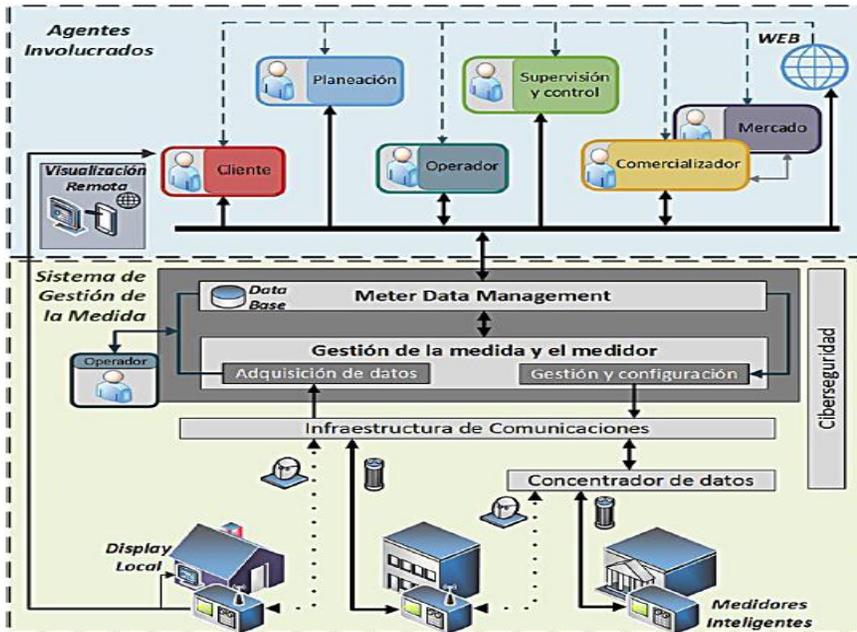


FIGURA 8. Infraestructura de Medida Avanzada (AMI).
Fuente: Extraído de “Sistemas de medición avanzada en Colombia: beneficios, retos y oportunidades”[17]

4.2. AUTOMATIZACIÓN AVANZADA DE LA DISTRIBUCIÓN (ADA)

Esta tecnología es importante ya que permite monitorear de manera remota la red, también mejora en gran medida la continuidad y calidad del servicio, al ser implementada esta tecnología en el departamento del Cesar permitiría asegurar la continuidad del abastecimiento y minimizar los sag de voltage, siendo estas unas de las primordiales metas en este departamento por las elevadas interrupciones que se presentan. Asimismo con la implementación de esta tecnología se inician distintas posibilidades para el desarrollo de los recursos energéticos distribuidos (DER) en el Cesar.[7], [9]. En la tabla 3 se muestran las distintas funcionalidades que presenta esta tecnología y los diferentes beneficios que se obtendrían en el departamento del Cesar con la implementación de esta tecnología.

Tabla 3. Funcionalidades y beneficios sobre la tecnología DER

FUNCIONALIDAD	BENEFICIOS
Generación distribuida	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Cercanía de la generación al consumidor. ✓ Reducción de perjuicios técnicos que estén relacionados con el transporte de energía. ✓ Acrecentar la eficiencia de la red.
Almacenamiento de energía	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Generación a través de fuentes renovables.
Participación de los usuarios generadores	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Brinda rentabilidad económica a los usuarios.
Minimización de la dependencia a grandes generadores	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Servicios adicionales a la red en momentos de gravedad.

Fuente: Elaboración propia a partir del documento “Antecedentes y marco conceptual del análisis, evaluación y recomendaciones para la implementación de redes inteligentes en Colombia”[9]



Entre los principales fabricantes de esta tecnología se encuentran ABB, Schneider Electric, Cisco, Siemens, Eaton, Daifuku, Schweitzer Engineering Laboratories, Landis+Gyr, Power System Engineering.

Al hablar de esta tecnología también hay que hacer mención a las redes con Cisco Digital Network Architecture (DNA) center y Application Centric Infrastructure (ACI), ya que estas ofrecen soluciones avanzadas a la red y además también brindan protección y seguridad a la misma.

- ✓ Cisco Digital Network Architecture (DNA) center: la arquitectura de red digital, ofrece a la red protección, automatización y aseguramiento de la misma, es decir, puede proteger de manera rápida y eficiente las modernas demandas de negocio. Además ofrece gestión centralizada de la red, basando la solución en Inteligencia Artificial (IA) y Machine Learning (ML), con estos se busca lograr automatizar tareas como supervisión, resolución de problemas, entre otros.[21]
- ✓ Cisco Application Centric Infrastructure (ACI): la infraestructura centralizada en aplicaciones, se encuentra basado en la solución de red definida por software (SDN – Software Defined Network), además incluye APIC (Application Policy Infrastructure Controller), mediante este los distintos administrados poseen acceso centralizado para administrar su red, ajustando las políticas, observando el estado de la red e implementando algunas funciones avanzadas como la seguridad de varios usuarios. Asimismo ACI coopera con la reducción de costes, reducción de errores, entre otros.[22]

4.3. RECURSOS ENERGÉTICOS DISTRIBUIDOS (DER)

Esta tecnología permite generar y almacenar energía en baja tensión, esta integra de manera eficiente fuentes convencionales de energía y sistemas que realizan almacenamiento en la red de distribución, asimismo presenta la oportunidad de suministrar servicios adicionales a la red en momentos de gravedad, aumentando de manera notoria la calidad de la energía y de esta manera poder minimizar la dependencia a los grandes generadores.

Esta tecnología permite que se integren los distintos usuarios que generan energía, también llamados prosumidores, siendo este uno de los elementos claves para las redes inteligentes. En la tabla 4 se observan las distintas funcionalidades y beneficios que tendría el departamento del Cesar con la implementación de esta tecnología:[7], [9]

Tabla 4. Funcionalidades y beneficios sobre la tecnología DER.

FUNCIONALIDAD	BENEFICIOS
Generación distribuida	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Cercanía de la generación al consumidor. ✓ Reducción de perjuicios técnicos que estén relacionados con el transporte de energía. ✓ Acrecentar la eficiencia de la red.
Almacenamiento de energía	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Generación a través de fuentes renovables.
Participación de los usuarios generadores	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Brinda rentabilidad económica a los usuarios.
Minimización de la dependencia a grandes generadores	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Servicios adicionales a la red en momentos de gravedad.

Fuente: Elaboración propia a partir del documento “Antecedentes y marco conceptual del análisis, evaluación y recomendaciones para la implementación de redes inteligentes en Colombia”[9]

En la figura 9, se evidencia las diferentes estructuras que brinda la tecnología DER.

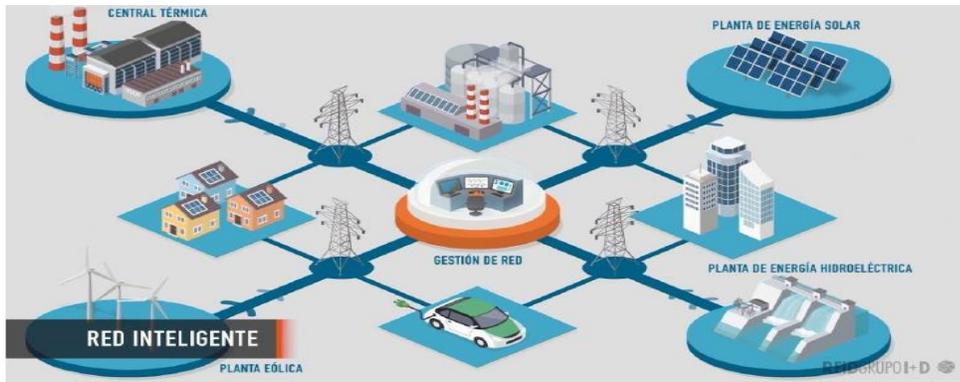


FIGURA 9. Recursos Energéticos Distribuidos (DER).

Fuente Extraído de “Estudio, análisis y modelamiento de los sistemas eléctricos de distribución en el contexto de redes eléctricas inteligentes industria 4.0 y automatización”[23]

En Colombia aunque se han realizado distintos adelantos en la elaboración de un marco político que regule la incorporación de los DER, el nivel de aprobación de esta tecnología actualmente es bajo. El CIDET en una publicación realizada en el año 2019, muestra una evaluación de manera cualitativa del nivel de aprobación de esta tecnología en el país, esta evaluación se puede observar en la figura 10.[24]



FIGURA 10. Tendencias tecnológicas en Recursos Energéticos Distribuidos

Fuente Extraído de “Integración de los recursos energéticos distribuidos en el sistema eléctrico colombiano” [24]

Además la iniciativa Colombia inteligente ha desarrollado distintas actividades con la intención de apresurar la integración de esta tecnología en el sistema eléctrico del país, a pesar de esto es necesario lograr la homogenización de los DER con los estándares internacionales como son la IEC 61727 y la IEEE 1547, asimismo actualizar el código de redes colombiano (NTC 2050 y RETIE).[24]. Entre los fabricantes más destacados de esta tecnología encontramos a Enel X, ISA, SIEMENS y el Consejo Mundial de Energía Colombia (World Energy Council Colombia) que es quien asocia distintas empresas con el objetivo de impulsar el suministro y uso sostenible de la energía para el beneficio de la sociedad en general.

4.3.1. TIPOS DE GENERACIÓN DISTRIBUIDA EN LAS REDES INTELIGENTES



Actualmente encontramos distintas tecnologías para los sistemas de generación distribuida, siendo los de mayor adaptabilidad a las redes inteligentes y al departamento del Cesar la generación eólica y la solar fotovoltaica, este departamento posee la planta de generación de energía fotovoltaica de mayor tamaño construida hasta la fecha en el país, ubicada en el municipio del Paso (Cesar), también la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales (ANLA), aprobó en el año 2019 la licencia para dar paso al proyecto de generación fotovoltaica en el corregimiento de Azúcar buena – La mesa, Valledupar, el cual se espera tenga un gran impacto en esta zona del país.[34]

4.3.2. GENERACIÓN SOLAR FOTOVOLTAICA

Este tipo de energía eléctrica renovable es producida directamente por la radiación solar mediante celdas solares o celdas fotovoltaicas, normalmente estas celdas son laminas semiconductoras que permiten el uso de la corriente eléctrica de manera inmediata o almacenarla en una batería para que sea utilizada cuando sea requerida.

Anteriormente este tipo de energía era usada para el abastecimiento de electricidad en los diferentes sitios donde no era factible la implementación de las redes eléctricas convencionales, actualmente esta energía se posesiona como una de las más usadas a nivel mundial, su diversificación ha generado un alto interés en los distintos usuarios ya que presenta distintas aplicaciones en sectores como las telecomunicaciones, parquímetros, entre otros.[8], [35]

4.3.2.1. FUNCIONAMIENTO

Este tipo de sistemas entran en función cuando los módulos fotovoltaicos transforman en corriente directa la energía solar percibida mientras transcurre el día, esta corriente es transportada y almacenada en energía eléctrica en baterías para que el usuario tenga disponibilidad de esta cuando la necesite para energizar los distintos electrodomésticos del hogar. Para lograr el correcto uso de la energía extraída por las celdas solares que es entregada a las baterías, esta debe transportarse por el controlador de cargas que es el encargado de proteger a los diferentes elementos del sistema contra sobrecargas, bajos voltajes o altas corrientes.[35]

4.3.2.2. VENTAJAS

Este tipo de sistemas presenta una variedad de ventajas que se resumen a continuación:

- ✓ Fuente inagotable de energía al provenir de la radiación solar.[34], [36]
- ✓ No produce emisiones de dióxido de carbono (CO₂) ni demás gases que produzcan contaminación al medio ambiente, es decir, es una energía limpia.[8]
- ✓ No consume combustibles.[8]
- ✓ No necesita de mantenimientos complejos y costosos.[8], [34], [36]
- ✓ Resistente a las distintas condiciones climáticas que se puedan presentar.[8]
- ✓ No genera ruidos ni residuos que puedan hacer daño al medio ambiente.[34]
- ✓ Se puede instalar en zonas de difícil acceso para las redes eléctricas convencionales, por lo general zonas rurales.[36]
- ✓ Venta de los excedentes de energía eléctrica a la empresa prestadora del servicio de la localidad.[8]

4.3.2.3. DESVENTAJAS

Así como anteriormente se hizo mención a las ventajas que presenta este tipo de sistemas, también se presentan algunas desventajas a la hora de ser implementados:

- Acumulación de baterías que contienen distintos químicos con gran peligrosidad.[34]



- Producción variable provocada por los cambios climáticos presentes en las distintas épocas del año.[37]
- Probable afectación a ecosistemas en caso de que las instalaciones sean de gran tamaño.[34]
- Gran inversión inicial.[37]

4.3.3. GENERACIÓN EÓLICA

Este tipo de energía renovable utiliza la fuerza del viento para así producir energía eléctrica, actualmente, este tipo de energía es una de las de mayor eficiencia entre las energías renovables, su principal medio de obtención son las turbinas eólicas que con sus hélices se encarga de convertir la energía cinética producida por el viento en electricidad.

La velocidad del viento se encuentra expresada en metros por segundo (m/s), esta es clave en la generación de energía eléctrica en las turbinas eólicas, gran parte de la región caribe, zona donde se encuentra ubicado el departamento del Cesar, presenta un gran potencial eólico, con vientos que alcanzan velocidades que fluctúan los 9 m/s a una altura entre 70m y 80m para la utilización de este importante recurso. Esta energía eólica está proyectada a ser competitiva ya que los principios que utiliza son sencillos.[34]

4.3.3.1. VENTAJAS

La generación eólica presenta múltiples ventajas las cuales se describen a continuación:

- ✓ Es una fuente de energía inagotable ya que depende del viento.[38]
- ✓ Es limpia, ya que no genera emisiones atmosféricas ni residuos contaminantes.[8]
- ✓ Reducción del uso de combustibles fósiles, con esto se disminuye el aumento del efecto invernadero y el cambio climático.[38]
- ✓ Generación de empleo local y fomenta riqueza, ya que está disponible en casi todo el planeta.[8]
- ✓ Rápida instalación, ya que no requiere de minería ni transformación de combustibles.[8]
- ✓ Permite la instalación de turbinas eólicas a distintas alturas para conseguir una producción constante.[38]
- ✓ Presenta cero incidencia con relación a las características fisicoquímicas del suelo, ya que no origina ningún contaminante que incurra sobre este medio.[38]
- ✓ Puede instalarse en zonas desérticas, próximas a la costa, zonas destinadas para distintos cultivos, prados para uso ganadero, entre otros.[8], [38]
- ✓ Requiere poco mantenimiento.[38]
- ✓ Competitividad en costes con energías tradicionales.[38]

4.3.3.2. DESVENTAJAS

Esta energía también presenta distintos inconvenientes a la hora de su implementación debido a la aleatoriedad del viento, estos inconvenientes se dan a conocer a continuación:

- Impacto ambiental, ya que las turbinas de viento producen ruido y afectación a la fauna que se encuentre cerca de estas.[33], [39]
- La velocidad del viento no puede exceder cierto límite, ya que al ser superior ocasiona daños en el eje y la producción disminuye.[39]
- Produce impacto visual en el paisaje, ya que los rayos solares impactan las aspas y son enviados hacia los hogares cercanos, rutas o cultivos.[33], [39]



- Impredecibilidad del clima, esta energía así como la solar depende de los cambios que presenta la naturaleza, ya que el viento varía en velocidad, dirección e intensidad.[39]
- Necesita sistemas para almacenar la energía generada, estos sistemas son baterías costosas y con materiales tóxicos, estas representan un problema ecológico.[39]
- Necesidad de grandes extensiones de tierras, los parques eólicos necesitan grandes espacios ya que las turbinas de viento no pueden estar cerca unas de otras ya que el viento es modificado por las mismas en su paso.[39]

4.4. MOVILIDAD ELÉCTRICA (VE)

Esta tecnología se presenta como una oportunidad para minimizar la contaminación medio ambiental que se presenta por el uso del transporte a base de combustibles fósiles, con la implementación de esta tecnología en el departamento del Cesar, el sistema eléctrico de este, presentará mejoras debido a que las recargas de las baterías puede ser efectuada en el momento que el usuario o el operador de red lo desee, con esto se conseguiría una nivelación en la curva de demanda energética de carga. Asimismo se presenta como un desafío para poder inspeccionar y administrar la demanda, ya que esta tecnología permite incluir distintos elementos en el sistema eléctrico de este departamento sin causar descomposiciones en la curva de consumo.[9]

Existe un nivel más avanzado de esta tecnología más conocido como V2G (Vehicle to grid), esta permite la carga y descarga de la batería mientras se encuentra conectada a la red. En la tabla 5 se evidencia la funcionalidad y beneficios que se obtienen con la implementación de esta tecnología en el Cesar.

Tabla 1. Funcionalidades y beneficios sobre la tecnología VE

FUNCIONALIDAD	BENEFICIOS
Electrificación del transporte	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Disminución de la contaminación medioambiental. ✓ Mejorar la eficiencia del sistema eléctrico. ✓ Capacidad de gestionar la demanda.

Fuente: Elaboración propia a partir del documento “Antecedentes y marco conceptual del análisis, evaluación y recomendaciones para la implementación de redes inteligentes en Colombia”[9]

Entre los principales fabricantes de esta tecnología a nivel nacional encontramos el primer vehículo eléctrico colombiano de marca Eolo, recibe este nombre porque su funcionamiento es a base de un sistema eólico, fue desarrollado por varios ingenieros del país y fue presentado de manera oficial en el año 2020.[25]

A nivel mundial se destacan diferentes fabricantes, entre los más relevantes encontramos a Nissan y Enel, estos dos realizaron la primera implementación del vehículo conectado a la red (V2G) en el Reino Unido, convirtiendo el vehículo Nissan en centros de energía eléctrica móvil para suministrar esta misma a la red y adquirir los distintos beneficios, también se encuentran distintos fabricantes como Tesla, que es el líder en fabricación y desarrollo de vehículos con esta tecnología, hizo su apertura en el año 2003 y simboliza el 12% de todas las ventas de vehículos de este tipo a nivel mundial, otro fabricante es BYD co Ltd, a finales del año 2016 esta empresa se convirtió en el tercer fabricante con mayor número de vehículos eléctricos enchufables y en el mismo año empezó la producción de vehículos eléctricos puros para que se implementaran en Pekín.[26]

En cuanto a competitividad de vehículos eléctricos, existen otros fabricantes como BAIC, BMW, Volkswagen, Hyundai, Kia, Mitsubishi y Chery. Todos estos fabricantes, incluyendo los



mencionados anteriormente poseen distintas tecnologías de vehículos eléctricos, entre las tecnologías más destacadas se encuentran las siguientes:

- ✓ Vehículo eléctrico a baterías o Battery Electric Vehicle (BEV): esta es la configuración más esencial de los vehículos eléctricos, impulsado por uno o varios motores eléctricos, adquieren la energía que es almacenada en sus baterías que son recargables mediante la conexión a la red eléctrica.[27]
- ✓ Vehículo híbrido enchufable o Plug-in Hybrid Electric Vehicle (PHEV): estos pueden conectarse al sistema eléctrico para recargar su batería, pueden alcanzar recorridos hasta de 80km haciendo uso solamente de la tracción eléctrica, además disponen de un motor de combustión para recargar la batería cuando esta lo requiera.[27]
- ✓ Vehículo eléctrico de autonomía extendida o Extended Range Electric Vehicle (EREV): este tipo de vehículos poseen un motor de combustión que actúa como generador, este es el encargado de cargar de manera lineal la batería cuando esta lo requiere sin necesidad de que el conductor lo decida.[27]

V. INICIATIVAS DE REDES INTELIGENTES EN COLOMBIA

En distintas zonas del país se iniciaron múltiples proyectos acerca de redes inteligentes basados en las diferentes tecnologías a las que estas tienen acceso, en la figura 11 se encuentra la ubicación de estos proyectos

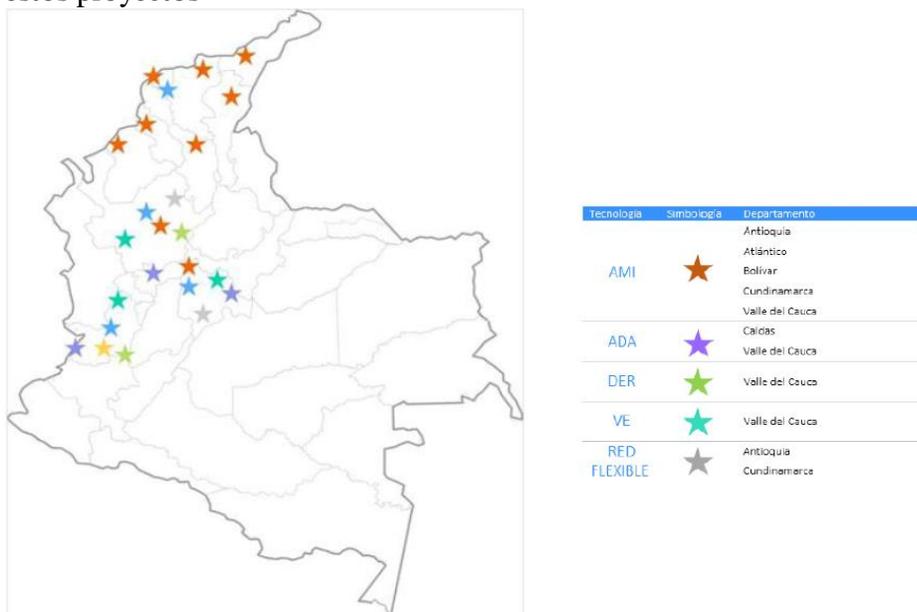


FIGURA 11. Ubicación de iniciativas de redes inteligentes en Colombia
Fuente Extraído de “Iniciativas de redes inteligentes en Colombia”[28]

En el país se están desarrollando varias iniciativas de redes inteligentes, con estas iniciativas se pueden lograr mejoras en la calidad, eficiencia, continuidad del servicio, reducción de las distintas pérdidas. Muchas de estas iniciativas han demostrado beneficios como el caso de los medidores inteligentes, la generación distribuida con las fuentes no convencionales de energías renovables que ayudan a minimizar el daño al medio ambiente y la curva de consumo, también la automatización y monitoreo de la red de distribución que posibilita reducir los tiempos de



mantenimiento y distintas reparaciones que sean necesarias. En las siguientes tablas se dan a conocer las distintas iniciativas, dichas tablas se encuentran fraccionadas por tecnologías.

Tabla 2. Iniciativas tecnología AMI desarrolladas en Colombia.

Iniciativas tecnología AMI desarrolladas en Colombia			
Nombre del proyecto	Ubicación del proyecto	Empresa que desarrolla la iniciativa	Resumen del proyecto
Piloto Smart Metering	Bogotá D.C.	CODENSA S.A. ESP	<p>Este proyecto se encuentra en etapa de factibilidad, está dado a conocer como una infraestructura que puede llegar a contribuir en el crecimiento de nuestro país y en los distintos objetivos de mayor importancia planteados por la empresa.</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Implementación de medidores inteligentes con la finalidad de manifestar los beneficios que ofrece esta tecnología. ✓ Estandarizar las técnicas de medida centralizada que hayan en la compañía. ✓ Reducción de pérdidas de energéticas relacionadas con el hurto de esta. ✓ Aumentar calidad del servicio de energía. ✓ Reducción de costes de operación en las actividades de interrupción, supervisión y reconexión.
Intelligent Supervision and Advanced Control (ISAAC) fase III	Antioquia	XM	<p>El proyecto “Sistema Inteligente de Supervisión y Control Avanzado de tiempo real” que hace uso de las tecnologías AMI/ADA, se encuentra en etapa de operación, presenta como objetivo diseñar la arquitectura de un modelo para los nuevos sistemas de inspección y control en tiempo verdadero, donde propone una visión hacia un desarrollo radical de los sistemas SCADA/EMS.</p> <p>Este proyecto está sustentado bajo la hipótesis de que esta tecnología evoluciona en 5 grandes temas:</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Integrar de manera completa la medición fasorial en las múltiples herramientas de inspección. ✓ Progreso de la funcionalidad de inspección y control (EMS) que se encuentra distribuida en las subestaciones. ✓ Desarrollo de paradigmas de protección colaborativa. ✓ Paradigmas de Conciencia Situacional Avanzada para Operadores. ✓ Conjunto de elementos de Comunicaciones con modelo de Nube/Bus de datos.

Fuente: Extraído de “Iniciativas de redes inteligentes en Colombia” [28]

Tabla 3. Iniciativas tecnología AMI desarrolladas en Colombia.

Iniciativas tecnología AMI desarrolladas en Colombia			
Nombre del proyecto	Ubicación del proyecto	Empresa que desarrolla la iniciativa	Resumen del proyecto
Proyecto piloto de medición inteligente multiservicio	Antioquia	EPM	Este es un proyecto de Smart Metering en electricidad, aguas y gas natural, para 1.000 clientes aproximadamente, con la finalidad de incorporar la tecnología y evaluar la calidad del servicio, identificar las pérdidas que se generen y los costos comerciales.
Estudio del protocolo IPv6 en el modelo de datos del dominio de distribución de la Smart	Valle del Cauca	Universidad del Valle	Este proyecto ya fue finalizado, se mide el cumplimiento de IPv6 en el dominio de distribución de la red inteligente, en esta evaluación se incluyen mediciones y estudios de los retardos, anchos de



Grid			banda, condiciones de seguridad, entre otros. Se imaginó un proyecto evolucionado para conseguir superar las distintas restricciones que implica trabajar con simulaciones este tipo de contextos.
Interconexión en los segmentos de acceso y backbone en la red de telecomunicaciones de la Smart Grid	Antioquia	INTERNEXA S.A	Este proyecto se encuentra en etapa de factibilidad, en este se define una metodología para seleccionar el esquema de interconexión que mejor se adecue y que además agrade a los distintos requerimientos de conexión de la zona geográfica donde se ponga en marcha, además busca estudiar el impacto del comercio de instrumentos de redes inteligentes sobre el backbone de la red de telecomunicaciones de INTERNEXA. Asimismo plantea un patrón de comercio y propone al marco regulatorio el bosquejo de interconexión de las secciones de acceso y backbone de la red de telecomunicaciones de redes inteligentes.
Infraestructura de Medición Avanzada (AMI) sobre plataforma TWACS	Valle del Cauca	ACLARA PLS	Este proyecto se encuentra en etapa de operación, desarrolla la implementación de soluciones que posibiliten advertir sobre la problemática de las pérdidas no técnicas y el dilema de bajo cobro, en estado alcanzable para los distintos usuarios del sistema.
Proyecto piloto: gestión de 1 MW de demanda en sitio	Cali	Innovari	Este proyecto piloto se encuentra en etapa de factibilidad, lo que se busca con él es lograr el retiro de 1 MWp de demanda dentro del sistema de distribución local de EMCALI de manera automática.

Fuente: Extraído de “Iniciativas de redes inteligentes en Colombia” [28]

Tabla 4. Iniciativas tecnología AMI desarrolladas en Colombia.

Iniciativas tecnología AMI desarrolladas en Colombia			
Nombre del proyecto	Ubicación del proyecto	Empresa que desarrolla la iniciativa	Resumen del proyecto
Perfil colombiano 61850	Perfil colombiano 61850	CODENSA Universidad Nacional sede Medellín	Este proyecto se encuentra en proceso de diseño, en este se pretende desarrollar un perfil colombiano IEC 61850, el cual busca que se posibilite la unificación del procedimiento de configuración de los instrumentos de las distintas empresas del sector eléctrico del país.
Implementación del centro de gestión de la medida-fase 0	Valle del Cauca	Empresa de energía del pacífico - EPSA	Lo que pretende esta empresa es realizar un análisis para implementar MDM's como fracción de su centro de gestión de la medida para el control de flujos con la finalidad de desarrollar tele-trámite y además realizar gestión inteligente de toda la información de tal manera que esta sea utilizada para tomar decisiones futuras que avalen la minimización de pérdidas y ayuden a levantar los análisis de la eficiencia energética.
Desarrollo de un sistema electrónico inteligente de medición y administración de energía eléctrica a usuarios finales	Cundinamarca	Centro de investigación y desarrollo tecnológico de la industria electro electrónica y TICs	Este proyecto se encuentra en etapa de construcción, con el desarrollo de este se espera repotenciar un producto que en la actualidad se localiza dentro del portafolio de la empresa, mediante la inclusión de tecnologías emergentes y la actualización de sus componentes, lo que se espera realizar la formación de un sistema inteligente de medida, inspección y gestión energética en redes de distribución, el cual permite a la compañía favorecida realizar de manera instantánea el movimiento de energía en transformadores de distribución, reconociendo y analizando las pérdidas no técnicas relacionadas con el hurto de energía así como las maniobras de conexión y desconexión de circuitos, restringiendo el abastecimiento



		CIDEI	energético en caso de conexiones que presenten fraudes.
Arquitectura de software para gestión y medición del consumo de energía	Valle del Cauca	OnGreen Colombia	El proyecto se encuentra en etapa de diseño, se pretende plantear una arquitectura que funcione de base para el desarrollo empresarial StarUP en el Centro Institucional de Emprendimiento Empresarial (CIEE) de la Universidad Autónoma de Occidente (UAO) llamada SABER, con esta se busca brindar soluciones de ahorro y el uso eficaz de recursos de agua y energía a las distintas empresas que laboran en la región haciendo uso de una propuesta de servicios informáticos que se encuentran en la nube, la cual permite una gestión integral de los diferentes recursos y detecta las oportunidades de ahorro, recuperación y reciclaje de los recursos antes mencionados.

Fuente: Extraído de “Iniciativas de redes inteligentes en Colombia” [28]

Tabla 5. Iniciativas tecnología ADA desarrolladas en Colombia.

Iniciativas tecnología AMI desarrolladas en Colombia			
Nombre del proyecto	Ubicación del proyecto	Empresa que desarrolla la iniciativa	Resumen del proyecto
Automatización de la operación de redes de distribución subterráneas	Caldas	CHEC S.A	Este proyecto se encuentra en etapa de operación, la empresa está buscando conseguir una mayor efectividad en la operación de la automatización de las redes de distribución subterráneas. Se realizó la instalación de diez instrumentos de tele-control incorporados a las celdas de corte y con esto fue posible la supervisión y operación remota desde el centro de gestión, de este modo se aceleran los tiempos de réplica en interconexión de circuitos frente a los distintos eventos que pueda presentar el sistema. Este esquema se encuentra operando en la ciudad de Manizales y posibilita realizar de manera distante veintinueve interconexiones entre circuitos.
Intelligent Supervision and Advanced Control (ISAAC) fase III	Antioquia	XM	El proyecto “Sistema Inteligente de Supervisión y Control Avanzado de tiempo real” que hace uso de las tecnologías AMI/ADA, se encuentra en etapa de operación, presenta como objetivo diseñar la arquitectura de un modelo para los nuevos sistemas de inspección y control en tiempo verdadero, donde propone una visión hacia un desarrollo radical de los sistemas SCADA/EMS. Este proyecto está sustentado bajo la hipótesis de que esta tecnología evoluciona en 5 grandes temas: <ul style="list-style-type: none"> ✓ Integrar de manera completa la medición fasorial en las múltiples herramientas de inspección. ✓ Progreso de la funcionalidad de inspección y control (EMS) que se encuentra distribuida en las subestaciones. ✓ Desarrollo de paradigmas de protección colaborativa. ✓ Paradigmas de Conciencia Situacional Avanzada para Operadores. ✓ Conjunto de elementos de Comunicaciones con modelo de Nube/Bus de datos.

Fuente: Extraído de “Iniciativas de redes inteligentes en Colombia” [28]

Tabla 6. Iniciativas tecnología DER desarrolladas en Colombia.

Iniciativas tecnología AMI desarrolladas en Colombia			
Nombre del proyecto	Ubicación del proyecto	Empresa que desarrolla la iniciativa	Resumen del proyecto



Servicios de datacenter 7 cloud Smart Grid	Antioquia	INTERNEXA	Este proyecto se encuentra en etapa de diseño, lo que busca es brindar distintos servicios para almacenar, diferentes servidores de almacenamiento y además procesar señales.
Eficiencia energética y energías renovables EPSA yumbo.	Valle del Cauca	Empresa de energía del pacífico - EPSA	El objetivo primordial de este proyecto es realizar una valoración acerca de la implementación de la tecnología fotovoltaica en la red de electrificación de la región y asimismo posibilitar percibir las circunstancias bajo las cuales sería factible su ejecución en el sistema interconectado nacional (SIN), todo esto siendo manejado desde el edificio EPSA yumbo con un sistema fotovoltaico en tipo piloto.
Proyecto piloto de micro red inteligente	Antioquia	Universidad Pontificia Bolivariana (Medellín)	El proyecto se encuentra en etapa de construcción, lo que se desea lograr es la implementación de una micro red inteligente con la cual sea posible realizar estudios, investigaciones, apropiaciones tecnológicas y desarrollo de diferentes prototipos para brindar soluciones integradas de modelo micro red para los usuarios de mayor consumo, zonas que no se encuentren interconectadas. Para dar solución a los inconvenientes ya identificados, resultan las siguientes tres fases: <ul style="list-style-type: none"> ✓ Implementación de la infraestructura de la micro red: esta fase tiene como objetivo principal la implementación completa en un periodo no mayor a tres años la infraestructura de la micro red, sistemas de generación solar, aerogeneradores de entorno urbano, sistema de almacenamiento de energía, entre otros, todo esto monitoreado en tiempo real desde un centro de control. ✓ Investigación, apropiación tecnológica e integración de prototipos: en paralelo a la fase anterior y seguidamente de esta, se realizarán distintas investigaciones, efectuando pruebas, midiendo el desempeño de cada elemento de la micro red y además se desarrollarán modelos y se añadirán algunos ya existentes. ✓ Desarrollo de soluciones a la medida y escalamiento de la micro red: esta última fase tiene como intención brindar soluciones particulares que agrupen diversos componentes de la micro red a posibles usuarios dependiendo sus necesidades. El proyecto se constituirá en una vitrina obligada para el país en general, por su naturaleza multidisciplinaria y transversal. Además en este proyecto se evidencia una coherencia entre los objetivos de este y los diferentes planes de ciencia, tecnología e innovación regionales y nacionales, fundamentalmente en lo pertinente a la energía y a las TICs.
Perfil modelo CIM para empresas del sector eléctrico colombiano	Antioquia	EPM	El proyecto se encuentra en proceso de construcción, este modelo es un estándar descrito en el Lenguaje Unificado de Modelado (UML) que es el encargado de organizar la información que sea útil en los sistemas de energía eléctrica, con el uso del modelo CIM se facilitará el intercambio de información de aplicaciones entre los diferentes fabricantes. En la actualidad distintas empresas del sector eléctrico se encuentran en busca de implementar el modelo CIM de manera independiente. Por medio de este proyecto lo que se busca es lograr la producción de un perfil de modelo CIM esencial para lograr el canje de información y conceder instrumentos informáticos que apoyen la implementación del modelo antes mencionado.

Fuente: Extraído de "Iniciativas de redes inteligentes en Colombia" [28]

Tabla 7. Iniciativas tecnología VE desarrolladas en Colombia.

Nombre del proyecto	Ubicación del proyecto	Empresa que desarrolla la iniciativa	Resumen del proyecto
---------------------	------------------------	--------------------------------------	----------------------



<p>Transporte eléctrico-viabilidad de tecnologías innovadoras para operación, modernización y crecimiento de la red eléctrica de EPSA E.S.P</p>	<p>Valle del Cauca</p>	<p>Empresa de energía del pacífico-EPSA</p>	<p>Este proyecto ya fue finalizado, actualmente es de vital importancia tener una observación general acerca de la situación vigente de los vehículos eléctricos, orientado hacia las líneas de desarrollo y las distintas aplicaciones a realizar por entidades como el gobierno, fabricantes de automóviles y las múltiples empresas existentes en el sector eléctrico. Con la finalidad de conseguir una inclusión estable de los vehículos eléctricos en el mercado, para esto se deben llevar a cabo diferentes estrategias de apoyo e implementación con objetivos claros y definidos para que los usuarios se motiven y vean las ventajas que presenta el uso del VE. EPSA trabaja en un análisis sobre la factibilidad de tecnologías innovadoras para la ejecución, actualización e incremento de la red eléctrica EPSA E.S.P. donde se procura conocer las distintas necesidades que se puedan presentar en el futuro para realizar pilotos que den fe de la información de rendimientos, comportamiento en esta región y el efecto en la red, estaciones de carga, sistemas de acumulación y la movilidad eléctrica.</p>
---	------------------------	---	---

Fuente: Extraído de “Iniciativas de redes inteligentes en Colombia”[28]

5.1. PROYECTOS RELACIONADOS CON LAS REDES ELÉCTRICAS INTELIGENTES EN EL DEPARTAMENTO DEL CESAR.

En el año 2020 se proponen programas específicos y proyectos inteligentes en la capital del departamento del Cesar, uno de los principales proyectos es el llamado “Ciudad Energética y servicios públicos Sostenibles” en el cual se implementarán diferentes modelos estratégicos, financieros y políticas para la transformación a energías renovables, para ayudar a aplacar el cambio climático. Asimismo busca dar cumplimiento a la ley 1819 del año 2016, donde se definen los diferentes avances tecnológicos relacionados con el alumbrado (detección de fallas, medición de consumo, operación eficiente, entre otros), como también la administración de una red fundamentada en tecnologías de la información y comunicación, que asocia el sistema con la ciberseguridad y otros servicios que se encuentran relacionados con la interoperabilidad.[44]

Entre las principales estrategias de este proyecto se destacan las siguientes: zonas verdes sostenibles, reemplazo del consumo de energía por las Fuentes No Convencionales de Energías Renovables (FNCER), uso de las medidas de gestión eficiente de la energía.

La Nueva Agenda Urbana (NAU) y los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) plantean objetivos que se encuentran relacionados con la energía, son los siguientes:[44]

- ✓ Sistemas energéticos modernos
- ✓ Eficiencia energética
- ✓ Energías renovables

Además la NAU plantea algunos compromisos con la sostenibilidad y servicios en Valledupar (capital del departamento del Cesar), entre los más relevantes se presenta la sostenibilidad del medio ambiente, servicios energéticos fiables y modernos, energías renovables, prioridad a los sistemas energéticos inteligentes, la adopción de ciudad inteligente y la mejora en la prestación de los diferentes servicios.[44]

También cabe resaltar que el gobierno departamental de esta zona del país afronta el desafío de ser la región más inteligente de Colombia, es por esto, que en el año 2021 se socializó el proyecto City Lab de tecnología del Cesar, en dicho proyecto se pretende abarcar diferentes temas tecnológicos como el internet de las cosas (IoT), big data, robótica, entre otros. Con la inicialización de este proyecto se espera que el departamento pueda mejorar los déficits en cuanto a tecnología se refiere y así poder avanzar en los procesos de modernización en diferentes escenarios.[45]



Asimismo este departamento cuenta con la planta fotovoltaica más grande del país construida hasta la fecha, ubicada en el municipio del Paso, puesta en funcionamiento por el grupo Enel Green Power (EGN) y comercializada por Enel Emgesa, este parque simboliza el 80% de la energía solar alojada en todo el país, su capacidad instalada es de 86,2MW (176GWh al año) la cual puede saciar las necesidades energéticas de 102.000 hogares colombianos. El Paso se convirtió en la primera planta solar con compromiso de determinación centralizada en el Sistema Interconectado Nacional (SIN).[46]

Fue inaugurado el 5 de abril del año 2019, con una inversión cercana a los 70 millones de dólares (211.000 millones de pesos), su construcción tiene una ocupación de un área aproximada de 210 hectáreas y está compuesto por más 250.000 paneles solares que poseen estructuras móviles para seguir la trayectoria del sol para así lograr aumento en la generación de energía. Con la implementación de este parque solar se logra la reducción de 107.000 toneladas anuales de dióxido de carbono (CO₂) lo cual es equivalente a cultivar 7,6 millones de árboles.[46]

Otro proyecto de gran importancia en el departamento del Cesar es el que fue aprobado por la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales (ANLA) para la generación de energía fotovoltaica en el corregimiento de Azúcar Buena – La mesa, Valledupar, el cual considera la construcción de un parque solar constituido por cinco plantas solares instalados seguidamente para producir 100 megavatios, con una generación aproximada de 41.667 MWh/año durante 30 años de ejecución, lo cual se estima que abastecerá a más de 105.000 hogares.[47]

Su construcción y puesta en marcha se encuentra a cargo de la empresa Celsia, la cual hará una inversión similar a la del proyecto implementado en el Paso, el área total dispuesta para este proyecto es de 156.61 hectáreas de los cuales 105.62 estarán ocupados por 284.310 paneles solares. Según ANLA este proyecto disminuirá 150.000 toneladas al año de dióxido de carbono (CO₂), lo que equivale a lo que capturarían 9.000 hectáreas de bosque húmedo en un año. El objetivo propuesto por el gobierno nacional es elevar por lo menos al 10% la participación de las fuentes de energías renovables no convencionales sobre la energía eléctrica total generada.[47]

VI. Conclusiones

- ✓ Se analizó que con la integración de las tecnologías de redes inteligentes descritas en este trabajo (AMI, ADA, DER y VE) a la red de distribución, el departamento del Cesar puede conseguir dar cumplimiento a los desafíos que tienen propuestos en los distintos planes de desarrollo departamental, entre ellos mejorar la continuidad y calidad del servicio de energía eléctrica y disminuir el impacto ambiental.
- ✓ Con el desarrollo de las tecnologías de redes inteligentes se contribuiría a la minimización de la inversión indispensable en infraestructura eléctrica de generación, transmisión y distribución en el departamento del Cesar, para dar paso al aumento de la demanda energética que se prevé en este departamento.
- ✓ Con el contexto planteado se impulsa la participación de manera activa de los distintos usuarios en el sistema energético, con esto se busca generar entendimiento acerca de ahorro energía y además que estos aporten información detallada de sus consumos.
- ✓ Con la posibilidad de puesta en marcha de las redes inteligentes estudiadas en este trabajo, en el departamento del Cesar los consumidores tendrán un rol diferente, ya que podrán hacer uso de las fuentes no convencionales de energía para generar su energía y contribuir con los excedentes a la red, convirtiéndose en prosumidores.
- ✓ La infraestructura actual de la red eléctrica del departamento del Cesar necesita una transformación para generar mejoras en su seguridad y funcionalidad, con la finalidad de que se produzca una energía que sea eficaz, sostenible y fiable, y con la implementación



de las redes inteligentes basándose en las iniciativas propuestas por la UPME en la visión Colombia 2030, se pueden realizar todas estas mejoras.

- ✓ En el departamento del Cesar con la implementación de redes inteligentes se disminuirían los tiempos de reparación cuando se presenta una falla y asimismo se minimizarían las interrupciones que tanto padece esta zona del país.
- ✓ Al implementar redes inteligentes en el Cesar, las pérdidas del sistema se minimizarían ya que las distintas tecnologías que estas ofrecen permiten optimizar la potencia reactiva y la corrección del factor de potencia.

Referencias

- [1] Gobernación del Cesar, "Departamento del Cesar," <http://cesar.gov.co/d/index.php/es/mainmeneldpto/mendeppre>, 2021. .
- [2] M. y E. A. (IDEAM) Instituto de Hidrología and Unidad de Planeación Minero Energética (UPME), "Introducción al atlas interactivo," 2014.
- [3] M. y E. A. (IDEAM) Instituto de Hidrología and Unidad de Planeación Minero Energética (UPME), "ATLAS DE RADIACIÓN SOLAR, ULTRAVIOLETA Y OZONO DE COLOMBIA DISTRIBUCIÓN ESPACIAL Y TEMPORAL DE LA IRRADIACIÓN GLOBAL HORIZONTAL EN COLOMBIA," 2014, 2014.
- [4] "DISTRIBUCIÓN ESPACIO-TEMPORAL DE VIENTOS EN SUPERFICIE."
- [5] GRUPO DE INVESTIGACIÓN XUÉ SEMILLERO DE INVESTIGACIÓN BARIÓN, "ASPECTOS GENERALES DE LAS REDES ELÉCTRICAS INTELIGENTES EN COLOMBIA," 2020.
- [6] Lorente De La Rubia J., "ESTUDIO SOBRE EL ESTADO ACTUAL DE LAS 'SMART GRIDS,'" 2011.
- [7] Acosta Perez F., "IDENTIFICACIÓN DE RETOS TIC DE LOS CONSUMIDORES COMO ACTORES ACTIVOS EN EL MARCO DE SMART GRID Y PROPUESTA DE ESTRATEGIA PARA AFRONTARLOS EN EL CONTEXTO COLOMBIANO," p., 2019.
- [8] Morales Quintana B. and Grandeth Salcedo N., "ESTADO DEL ARTE DE LAS REDES INTELIGENTES 'SMART GRID,'" 2012.
- [9] Smart Grids Visión Colombia 2030, "Parte I Antecedentes y Marco Conceptual del Análisis, Evaluación y Recomendaciones para la Implementación de Redes Inteligentes en Colombia," 2016.
- [10] Pérez Gaitán A., "CAPÍTULO II EL FUTURO DE LA RED INTELIGENTE."
- [11] Basso Thomas and Deblaslo Richard, "IEEE Smart Grid Series of Standards IEEE 2030 (Interoperability) and IEEE 1547 (Interconnection) Status: Preprint," 2011. [Online]. Available: <https://www.researchgate.net/publication/254994410>.
- [12] Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG), "Contrato 2019-034 Consultoría Código de Redes," 2019.
- [13] Caicedo B. Eduardo F., Castillo G. Javier F., Morales W., Echeverry M. Ricardo A., and Garcia R. Juan D., "METODOLOGÍA PARA LA EVALUACIÓN DE PROYECTOS PILOTOS 'SMART GRID' EN COLOMBIA," 2015.
- [14] Giral R. William M., Celedón F. Hugo J., Galvis R. Eduard, and Zona O. Angela T., "Redes inteligentes en el sistema eléctrico colombiano: Revisión de tema," *Tecnura*, pp. 119–137, Jul. 2017, doi: 10.14483/22487638.12396.
- [15] Siemens Power Technologies International, "Siemens Smart Grid Compass Helping utilities manage multiple challenges," 2013.
- [16] Rodríguez Mauricio, "Colombia Inteligente-Smart Grid Compass TM," 2012.
- [17] Téllez G. Sandra M., Rosero G. Javier, and Céspedes G. Renato, "Sistemas de medición avanzada en Colombia: beneficios, retos y oportunidades," <https://www.redalyc.org/jatsRepo/852/85259689012/html/index.html>, 2018. .
- [18] Ministerio de Minas y Energía, "ABC sobre Infraestructura de Medición Avanzada (AMI)," <https://www.minenergia.gov.co/infraestructura-de-medicion-avanzada>, 2019. .
- [19] Rojas D. David and Carmona J. Carlos A., "DISEÑO DE UNA METODOLOGÍA DE SELECCIÓN DE EQUIPOS DE MEDICIÓN DEL CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA PARA 'SMART MEDICIÓN' EN LOS DIFERENTES ESTRATOS SOCIALES DE CALI," 2016.
- [20] Duarte C. Sergio A. and Gutiérrez. Diego F., "Infraestructura de medición avanzada en sistemas de distribución con generación distribuida en redes e instalaciones eléctricas de baja tensión para adoptar políticas en materia de eficiencia energética," 2020.
- [21] SCC, "CISCO DNA PARA MEJORAR EL RENDIMIENTO DE LA RED," <https://www.sccenlared.es/cisco-dna-para-mejorar-el-rendimiento-de-la-red/>, 2020. .
- [22] Fernández F. Isaac, "Simplificación de la gestión de red mediante el uso de APIs," 2018.
- [23] GRUPO DE INVESTIGACIÓN XUÉ SEMILLERO DE INVESTIGACIÓN BARIÓN, "ESTUDIO, ANÁLISIS Y MODELAMIENTO DE LOS SISTEMAS ELÉCTRICOS DE DISTRIBUCIÓN EN EL CONTEXTO DE REDES ELÉCTRICAS INTELIGENTES INDUSTRIA 4.0 Y AUTOMATIZACIÓN DENTRO DE CONVENIO MARCO DE COOPERACIÓN INTERINSTITUCIONAL 080 DE 2019 ENTRE LA UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS Y LA RAPE (REGIÓN ADMINISTRATIVA Y DE PLANEACIÓN ESPECIAL)," 2020.
- [24] CIDET, "Integración de los recursos energéticos distribuidos en el sistema eléctrico colombiano," <https://cidet.org.co/integracion-de-los-recursos-energeticos-distribuidos-en-el-sistema-electrico-colombiano/>, Dec. 17, 2019. .
- [25] Agudelo Pablo A., "Proyecto EOLO, el vehículo eléctrico creado en Colombia," <https://www.vehiculoselctricos.co/proyecto-eolo-el-vehiculo-electrico-colombiano/>, Jan. 16, 2017. .
- [26] Ojea L., "Los diez fabricantes de vehículos eléctricos más competitivos del mercado mundial," <https://elperiodicodelaenergia.com/los-diez-fabricantes-de-vehiculos-electricos-mas-competitivos-del-mercado-mundial/>, Jan. 20, 2020. .
- [27] Electromovilidad, "Tipos de coches eléctricos," <http://electromovilidad.net/tipos-de-coches-electricos/>, 2021. .
- [28] Smart Grids Visión Colombia 2030, "Parte IV Anexo 7. Iniciativas de redes inteligentes en Colombia," 2016.
- [29] Cabeza López J., "ESTUDIO DE LA SITUACIÓN ACTUAL DE LAS SMART GRIDS (Study of the present situation of smart grids)," 2016.
- [30] Hernández C. Luis, "Smart grid: evolución del sistema eléctrico."
- [31] Herrera G. Marco V., "DESCRIPCIÓN DE REDES INTELIGENTES (SMART GRIDS) Y SU APLICACIÓN EN LOS SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICA," 2013.
- [32] Smart Grids Visión Colombia 2030, "Parte II Mapa de Ruta: Construcción y Resultados (COMPONENTE I)," 2016.
- [33] Chuqui Q. Manuel M., "ANÁLISIS DE GENERACIÓN DISTRIBUIDA EN HOGARES Y EDIFICACIONES," 2014.
- [34] Varón L. Rafael E., "CONTEXTUALIZACIÓN DE LA GENERACIÓN DISTRIBUIDA DE ENERGÍA ELÉCTRICA POR SISTEMAS DE COGENERACIÓN Y ENERGÍAS ALTERNATIVAS EN COLOMBIA," 2020.
- [35] Unidad de Planeación Minero Energética and Ministerio de Minas y Energía, "ENERGÍAS RENOVABLES: DESCRIPCIÓN, TECNOLOGÍAS Y USOS FINALES." [Online]. Available: www.upme.gov.co.
- [36] infraestructura y E. Ministerio de Economía and Mendoza Gobierno, "Ventajas y desventajas de algunas fuentes de energías renovables: solar, eólica e hidroeléctrica."
- [37] Colegio Oficial de Ingenieros de Telecomunicación. Grupo de Nuevas Actividades Profesionales., *Energía solar fotovoltaica. Colegio Oficial Ingenieros de Telecomunicación*, 2007.
- [38] Moreno C. Paola A., "ENERGÍA EÓLICA: VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE SU UTILIZACIÓN EN COLOMBIA," 2013.



- [39] ANTALA SPECIALITY CHEMICALS, "Ventajas y desventajas de la energía eólica," <https://www.antala.es/ventajas-y-desventajas-energia-eolica/>, 2019. .
- [40] Carvajal Q. Sandra X. and Marín J. Juan D., "The impact of distributed generation on the colombian electrical power system: a dynamic-system approach," 2013.
- [41] Álvarez Q. Leonardo X., "Impacto de la Generación Distribuida en la Red de Distribución," 2017.
- [42] Gobernación del Cesar, Unidad de Planeación Minero Energética (UPME), and Instituto de Planificación y Promoción de Soluciones Energéticas (IPSE), "DEMANDA ENERGÉTICA DEPARTAMENTO DEL CESAR," 2019.
- [43] Gobernación del Cesar, Unidad de Planeación Minero Energética (UPME), and Instituto de Planificación y Promoción de Soluciones Energéticas (IPSE), "DOCUMENTO LINEAMIENTOS DE POLÍTICA," 2019.
- [44] CONCEJO MUNICIPAL DE VALLEDUPAR, ""VALLEDUPAR ES ORDEN 2020 -2023 " PLAN DE DESARROLLO MUNICIPIO DE VALLEDUPAR," 2020.
- [45] Gobernación del Cesar, "City Lab," <https://cesar.gov.co/d/index.php/es/menpre/menprenoti/4642-artbp-0000429-2021>, 2021. .
- [46] Enel Green Power, "El Paso solar," <https://www.enelgreenpower.com/es/medios/news/2019/04/planta-fotovoltaica-el-paso-colombia-puesto-marcha>, 2019. .
- [47] MUNDO ELÉCTRICO, "Construcción de la mayor planta fotovoltaica de Colombia," <http://www.mundoelectrico.com/index.php/edicion-127/item/207-en-colombia-anla-da-licencia-ambiental-a-primer-proyecto-solar-en-el-cesar>, 2019.
- [48] YESID EUGENIO SANTAFE RAMON, METODOLOGÍA DE INTERVENCIÓN EN CONJUNTOS Y EDIFICIOS RESIDENCIALES EN LA CIUDAD DE CÚCUTA NORTE DE SANTANDER, PARA SECCIONALIZAR LAS PÉRDIDAS NO TÉCNICAS DE ENERGÍA UNIVERSIDAD DE PAMPLONA Estado: Tesis concluida INGENIERIA ELECTRICA, 2020. Dirigió como: Tutor principal, Persona(s) orientada(s): JORGE EDUARDO SANTIAGO Tutor(es)/Cotutor(es): YESID EUGENIO SANTAFE RAMON,
- [49] YESID EUGENIO SANTAFE RAMON, APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA DE PLAN DE MANTENIMIENTO OPTIMIZADO (PMO) PARA MEJORAS DE CALIDAD SAIDI Y SAIFI EN EL CIRCUITO PALDONJUANA DE CENS EN LA REGIONAL PAMPLONA UNIVERSIDAD DE PAMPLONA Estado: Tesis concluida INGENIERIA ELECTRICA, 2021. Dirigió como: Tutor principal, Persona(s) orientada(s): MIGUEL ENRIQUE LIZCANO MOGOLLON Tutor(es)/Cotutor(es): YESID EUGENIO SANTAFE RAMON
- [50] YESID EUGENIO SANTAFE RAMON, DISEÑO DE UN PLAN DE MEJORAMIENTO PILTO PARA CENTROS EDUCATIVOS Y POLIDEPORTIVOS DEL MUNICIPIO DE MOGOTES UNIVERSIDAD DE PAMPLONA Estado: Tesis concluida INGENIERIA ELECTRICA, 2021. Dirigió como: Tutor principal, Persona(s) orientada(s): WILLIAM RENÉ RUEDA SIERRA Tutor(es)/Cotutor(es): YESID EUGENIO SANTAFE RAMON , YESID EUGENIO SANTAFE RAMON,.,